

**Instytut Agrofizyki  
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN  
w Lublinie**

**ACTA AGROPHYSICA**

**65**

Jan Gliński, Ryszard Turski

**EWOLUCJA, ZASOBY  
I GŁÓWNE ZAGROŻENIA GLEB**

Monografia

Lublin 2002

### **Komitet Redakcyjny**

Redaktor Naczelny - prof. dr hab. Jan Gliński, czł. koresp. PAN

Z-cy Redaktora Naczelnego:

prof. dr hab. Ryszard T. Walczak, czł. koresp. PAN - fizyka środowiska

prof. dr hab. Bogusław Szot - fizyka materiałów roślinnych

prof. dr hab. Ryszard Dębicki - gleboznawstwo

### **Rada Redakcyjna**

prof. dr hab. J. Haman, czł. rzecz. PAN - przewodniczący

prof. dr hab. T. Brandyk

prof. dr hab. J. Laskowski

prof. dr hab. I. Dechnik

prof. dr hab. P.P. Lewicki

prof. dr hab. D. Drozd

prof. dr hab. S. Nawrocki, czł. rzecz. PAN

prof. dr hab. F. Dubert

prof. dr hab. E. Niedźwiecki

prof. dr hab. J. Fornal

prof. dr hab. J. Sielewiesiuk

prof. dr hab. E. Kamiński

prof. dr hab. W. Stępniewski

prof. dr hab. A. Kędziora

prof. dr hab. Z. Ślipek

prof. dr hab. T. Kęsik

prof. dr hab. S. Zawadzki, czł. rzecz. PAN

prof. dr hab. Cz. Koźmiński

### **Redaktorzy tomu**

prof. dr hab. Jan Gliński

prof. dr hab. Ryszard Turski

### **Opiniował do druku**

prof. dr hab. Edward Niedźwiecki

### **Adres redakcji**

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201

20-290 Lublin 27, tel. (0-81) 744-50-61, e-mail: editor@demeter.ipan.lublin.pl

<http://www.ipan.lublin.pl>

Publikacja indeksowana przez

Polish Scientific Journals Contents - Agric. & Biol. Sci. w sieci Internet

pod adresem <http://saturn.ci.uw.edu.pl/psjc/> lub <http://ciuw.warman.net.pl/alf/psjc>

© Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2002

Publikacja dofinansowana przez Komitet Badań Naukowych  
i Akademię Rolniczą w Lublinie

ISSN 1234 - 4125

Wydanie I. Nakład 250 egz. Ark. wyd. 6,9

Skład komputerowy: Ewa Hamera

Druk: Zakład Usług Poligraficznych TEKST s.c., ul. Wspólna 19, 20-344 Lublin

## SPIS TREŚCI

1. Wstęp .....	5
2. Zarys ewolucji i antropogenizacji gleb .....	5
3. Zasoby glebowe świata i ich wykorzystanie .....	23
4. Główne zagrożenia gleb .....	33
4.1. Denudacja .....	33
4.2. Erozja gleb .....	35
4.2.1. Ukształtowanie (rzeźba) terenu .....	37
4.2.2. Budowa geologiczna terenu .....	38
4.2.3. Pokrywa glebowa .....	39
4.2.4. Pokrycie terenu .....	40
4.2.5. Retencja wody .....	41
4.2.6. Całokształt urządzeń oraz system gospodarki rolnej na terenach uprawianych .....	41
4.3. Zmiany składu i właściwości gleb .....	50
4.3.1. Skład chemiczny gleb .....	50
4.3.2. Chemiczna bomba czasowa (CTB) .....	57
4.3.3. Zakwaszenie gleb .....	62
4.3.4. Zasolenie i alkalizacja (sodyfikacja) gleb .....	63
4.3.5. Przesuszenie (pustynnienie) gleb .....	66
4.3.6. Zagęszczenie gleb .....	66
4.4. Globalne zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko glebowe ..	67
3.4.1. Efekty strefowe zmian klimatu .....	69
3.4.2. Wpływ zmian klimatu na gleby i procesy glebowe .....	73
5. Podsumowanie .....	83
6. Literatura .....	84
7. Streszczenie .....	88
8. Summary .....	88



## 1. WSTĘP

Gleba należy do ograniczonych i niewymienialnych, na określonym etapie historii Ziemi, elementów środowiska geograficznego. Wraz z nim ewoluuje w określonym glebotwórczym cyklu zmieniając się w czasie w zależności od układu czynników glebotwórczych. Może jednakże ulec częściowej lub całkowitej zagładzie i pojawić się rozpoczynając nowy cykl glebotwórczy w nowym układzie. Zawsze obejmując jedynie lądy i część litoralu, co przy zmiennej w czasie ich powierzchni ogranicza ekumenę w najszerszym tego pojęcia znaczeniu. Stąd gospodarka zasobami glebowymi ma istotne znaczenie.

Jest to tym bardziej ważne, że człowiek jako czynnik glebotwórczy działać może korzystnie na gleby ale i może degradować pokrywę glebową tak w sensie ilościowym aż do pełnej likwidacji gleby, jak i jakościowym.

Niniejsze opracowanie ma na celu pokazać złożoność procesów glebotwórczych i glebowych, ewolucję gleb, ich zasoby światowe, oraz zagrożenie środowiska glebowego.

Rozdziały 2, 3, 4.1 i 4.2 opracował Ryszard Turski, a pozostałe – Jan Gliński.

## 2. ZARYS EWOLUCJI I ANTROPOGENIZACJI GLEB

Stosując się do ogólnie przyjętej definicji, że glebą nazywamy tę część skorupy ziemskiej, która odznacza się żyznością, można *ex definicione* powiedzieć, że pojawiła się ona dopiero na pewnym etapie rozwoju Ziemi. Nie było jej na pewno w kosmicznym stadium kuli ziemskiej, a nawet po uformowaniu się skorupy, nim pojawił się ocean uważamy za miejsce praźródła życia. Dzisiejsze osiągnięcia paleontologii pozwalają datować początki materii ożywionej na erę proterozoiczną. Można jednak sądzić, że zaczątki procesów glebotwórczych ujawniły się dopiero w początkach ery paleozoicznej, gdy organizmy z oceanu ziemskiego wkroczyły na najbliższe mu strefy przybrzeżne. Na pewno nie nastąpiło to jednocześnie w każdym miejscu i nie w jednakowym nasileniu. Jak uważa wielu gleboznawców – paleopedologów, procesy glebotwórcze objęły zaledwie paromilimetrową warstwę ówczesnej powierzchni, topograficznej i były to jedynie plamy na abiotycznej jeszcze w znakomitej większości powierzchni Ziemi, chociaż w kambrze przeszła ona eksplozję ewolucyjną zwierząt morskich. Mimo że w zasadzie eksplozję taką poprzedza rozwój roślinności zdecydowane panowanie mórz w kambrze ograniczyło pojawienie się zaczątków gleb jedynie do fragmentów starych tarcz kontynentalnych i lądów wyłaniających się we wstępnej fazie orogenezy kaledońskiej. Dowody na rozprzestrzenienie się wyższych

form roślinnych, z grupy psylofitów, posiadamy dopiero z syluru. Psylofity nie wytworzyły wprawdzie korzeni, tym niemniej zwiększyły się możliwości akumulacji związków organicznych. Dominowały gleby napływowe, czemu sprzyjał stały dopływ materiału z wypiętrzonych w głównej fazie orogenezy kaledońskiej gór, a nie zabezpieczonych przed denudacją przez pokrywę roślinną. Na deluwacjach i aluwacjach formowały się słabo rozwinięte gleby. Ta faza ewolucji pokrywy glebowej nazwana została sporadyczną, ponieważ plamy i pasy wspomnianych jednostek glebowych występowały nie ciągle na abiotycznym i pół-abiotycznym podłożu skalnym.

Dewon szczególnie dolny jest uważany za czas panowania łądów. Subtropikalne i tropikalne warunki klimatyczne przyczyniły się do gwałtownego rozwoju roślinności i osiągnięcia form drzewiastych przez dominujące wówczas paprocie i skrzypy. Jest prawdopodobne, że w dewonie pojawiły się po raz pierwszy gleby odpowiadające dzisiejszym glebom laterytowym. Sądzić można po obecności czerwonych, dewońskich piaskowców o tworzeniu się również kompleksu gleb pustynnych.

Podobny typ tworzenia się i ewolucji gleb przypada i na karbon, szczególnie górny, gdy orogeneza hercyńska spowodowała znów powiększenie powierzchni łądów przy niezmiennych warunkach klimatycznych. Dominowały więc nadal gleby laterytowe oraz kompleks gleb bagiennych, przy zanikaniu prawie do końca karbonu procesów związanych z obszarami pustynnymi. Pośrednio pokłady węgla świadczą o możliwości gromadzenia substancji organicznej w glebach, a zachowane resztki wskazują na dalsze różnicowanie zespołów roślinnych. Pojawiły się nagozałazkowe.

Szczególne znaczenie dla ukształtowania się i rozwoju pokrywy glebowej miał okres permu. Dominowały łądy w postaci pralądu Pangei, z której przez długi czas na półkuli południowej utrzymywał się kontynent Gandwany. Nastąpił dalszy rozwój i zróżnicowanie roślinności, mimo wymierania zespołów specyficznych dla ery paleozoicznej. Są ślady ekstremalnego zróżnicowania klimatu oraz aktywnego wulkanizmu. Wachlarz gleb jakich się można było spodziewać stanowiły, jako reminiscencja karbonu, gleby słabo wykształcone i gleby tropików, a znaczne obszary pokryte były glebami olbrzymich permskich pustyń. Na części Gondwany wytworzył się zespół gleb pasa polarnego i subpolarnego, jako że zachowały się ślady zlodowaceń na resztkach tego prakontynentu np. na obszarze Ameryki Południowej czy Australii. Na pokrywach wulkanicznych wytworzyły się gleby określane w klasyfikacji FAO/UNESCO jako Verti i endosole. Daje to podstawy sądzić, że po raz pierwszy w historii Ziemi powstała ciągła pokrywa glebowa.

Rozwój gleb zbliżony do permskiego przesunął się aż po dolny trias. Zmiana kierunku ewolucji nastąpiła w następnych okresach ery mezozoicznej. Uchodzą one za czas jednolitego ciepłego i gorącego klimatu, co ujednoczyło i inne czynniki glebotwórcze z nim związane a głównie szatę roślinną. Skurczył się i zasięg pokrywy glebowej gdyż tak jura i kreda uchodzą za okresy talassakratyczne, dominacji mórz nad lądami.

Nowe warunki do odtworzenia się, zróżnicowania przestrzennego i typologicznego gleb wystąpiły w erze kenozoicznej. Sprzyjało temu, po orogenezie alpejskiej znaczne powiększenie powierzchni lądów, których kształty zbliżyły się do dzisiejszych oraz wyraźne uformowanie się stref klimatycznych, co spowodowało pojawienie się adekwatnych do nich stref bioekologicznych. Na znacznych obszarach, półkuli północnej procesy glebotwórcze mogły nie tylko nadać inny kierunek ewolucji zachowanych pokryw glebowych, ale rozpocząć się od nowa [28]. Już w trzeciorzędzie, w różnych stadiach orogenezy alpejskiej, na znacznych obszarach zaległy pokrywy law i popiołów wulkanicznych (np. Płaskowyż Dekan w Indiach). Podobnie na obszarach lądolodu plejstocenijskiego Azji, Europy, Ameryki nastąpiło osadzenie materiału zwałowego, fluwiogłacjalnego i eolicznego. Na obszarze tym w zależności od składu mineralogicznego (chemicznego), a głównie zawartości węglanów mogły rozwinąć się odmienne procesy glebotwórcze. Rozpoczęły się one protoglebowymi przemianami związanymi ze strefą peryglacjalną i przy zmiennym zaawansowaniu hydrogenezy poszły szczególnie na obszarach w zasięgu wpływów Atlantyku, w ogólnym kierunku dominacji procesów przemysłowych. Jedynie na skałach bogatych w węglany, przy ograniczeniu lub wręcz zahamowaniu procesów przemysłowych powstała szansa ujawnienia się procesu darniowego wzbogacającego utwory glebowe w związki próchniczne (czarnoziemy). W "oknach geologicznych", w których odsłoniły się skały wapniowcowe oraz tam, gdzie nie zostały pokryte przez osady czwartorzędu, miały szansę powstać międzystrefowe, litogeniczne gleby *terrae calcis* rędziny, a jeśli odsłonięcie nastąpiło wcześniej głównie *terrae fuscae*.

Próbę podsumowania naturalnej ewolucji gleb podjęli Gerasimov i Głazowskaja oraz Yaalon [cyt. za 2]. Według nich analiza ewolucji pokrywy glebowej w czasie i przestrzeni daje podstawy do sformułowania następujących uogólnień:

- różne grupy genetyczne gleb, które tworzą pokrywę glebową są kategoriami historycznymi. Każde z nich pojawiały się w określonej erze i epoce geologicznej. W trakcie ewolucji pokrywa glebowa rozwijała się w 2 kierunkach: a) zwiększała się ilość podstawowych jednostek systematycznych, b) różnicowała się wewnątrz każda z tych jednostek;

- proces zróżnicowania w czasie spowodował także charakterystyczne zmiany gleb w przestrzeni, tzn. skład, strukturę i formy geometryczne zespołów glebowych;
- historyczna ewolucja pokrywy glebowej jest ściśle związana z globalną ewolucją czynników glebotwórczych i jest ona nieodwracalna w obrębie określonego cyklu glebotwórczego.

W plejstocenie pojawił się człowiek, którego ewolucja ukierunkowała się na rozwój mózgu, dzięki czemu jego udziałem stała się świadomość, co od zarania różniło go jakościowo od pozostałych mieszkańców Ziemi. To pozwoliło mu nie tylko przetrwać ale i rozpocząć fazę antropogenezy środowiska, w tym i gleb.

Antropogenezą w ekologii nazywamy ten etap ewolucji środowiska, w którym człowiek dołącza do działania naturalnych czynników i niejednokrotnie je dominując.

W wyniku mniej lub bardziej świadomego działania człowiek może w przypadku gleb:

- a) zmienić skład chemiczny przez nawożenie (w naturalnych warunkach jest to efekt wietrzenia);
- b) zmienić bioekologiczne warunki ewolucji (np. w warunkach klimatu umiarkowanego, humidowego z charakterystycznymi zespołami leśnymi lub borowymi wprowadza roczne zespoły trawiaste, niejednokrotnie aż do granic monokultury);
- c) zmienić właściwości fizyczne przez uprawę co ma znaczny wpływ na kształtowanie stosunków wodno-powietrznych;
- d) zmienić stosunki hydrologiczne przez np. melioracje;
- e) oddziaływać na zwiększenie potencjalnych możliwości erozyjnych rzeźby terenu przez pozabawienie naturalnej szaty roślinnej obszarów morfologicznie zróżnicowanych;
- f) w skrajnych przypadkach choć na ograniczoną skalę, tworzyć nie spotykane w warunkach naturalnych gleby np. hortisole podłoża ogrodnicze;
- g) włączyć w proces glebotwórczy materiały nie występujące normalnie w przyrodzie, lub zmienić proporcje składników glebowych.

Człowiek rozpoczął swój wkład w proces ewolucji środowiska, w tym i gleb stosunkowo późno, dopiero w holocenie, mimo że już w plejstocenie nastąpiło gwałtowne przyspieszenie rozwoju rodzaju ludzkiego, a jak sądzą niektórzy badacze, wręcz powstanie człowieka rozumnego.

Sądzi się, że jednym z bodźców, który drogą odpowiedniej selekcji doprowadził do tego efektu, było zmniejszenie na skutek lodowców ekumeny. Spowodowało to większą ruchliwość i wzajemne wymieszanie się grup.

Pojawienie się człowieka, nawet nie wiele odbiegającego wielkością mózgu od współczesnego nie miało istotniejszego wpływu na zmiany w środowisku nie



mówiąc o racjonalnych jego przemianach. Działo się tak przez cały okres zwany w archeologii paleolitem. Przyczyną był koczowniczy tryb życia ówczesnych zespołów ludzkich, zabezpieczających swój byt przez zbieractwo i łowiectwo. Nawet po opanowaniu ognia i wykorzystaniu go np. do wypłaszania zwierzyny, zmiany w środowisku nie były większe niż przy samozapłonach. W paleolicie nastąpiło jednak zajęcie coraz większych połaci niegościnniej wówczas Europy. Hordy ludzkie w miarę ustępowania lodowca postępowywały za migrującą na północ zwierzyną łowną. Minimalny wpływ człowieka paleolitu na środowisko, tym bardziej nie mógł być większym na glebę, która pozostawała w pełni dziewiczą.

Tempo postępu w paleolicie wszędzie było podobne, co najwyżej zróżnicowane w czasie. Miarą powolności rozwoju człowieka paleolitycznego jest fakt, że na znacznych połaciach Europy przez blisko ćwierć miliona lat nie wyszedł on poza ilościowo różniące się formy myślistwa i zbieractwa.

Człowiek paleolityczny pojawił się na terenie dzisiejszej Polski później niż na południu Europy. Nie był on specjalnie zapóźniony w formach bytu, a tym samym w oddziaływaniu na środowisko niż jego pobratymcy z południa.

W następnym okresie, mezolicie podstawą bytu człowieka było dalej zbieractwo i łowiectwo. Nawet w basenie Morza Śródziemnego, gdzie pojawiają się ślady początków hodowli i uprawy, narzędzia są jeszcze prymitywne typu paleolitycznego.

W tych dwu długich dla rozwoju ludzkości okresach nastąpiły jednak zmiany istotne w jej historii. Niknie z powierzchni Europy człowiek neandertalski, a jego miejsce zajmuje homo sapiens. Jest ewenementem, że jeden z jego przedstawicieli - człowiek kromanionński (nazwa od wykopalisk w Cro-Magnon) sam będąc zbieraczem i łowcą doprowadził na ówczesne szczyty swój rozwój duchowy. Przejawami tego są wspaniałe zespoły kultowego, magicznego malarstwa w jaskiniach Francji i Hiszpanii. Odkrywczy, zdumieni poziomem artystycznym i ekspresją tej twórczości, zdobyć się mogli jedynie na napisanie: "Naszym dalekim przodkiem, którzy tworzyli w ciszy jaskiń, jakieś dwieście stuleci temu, w hołdzie dla geniuszu nigdy nie prześcignionego."

Mimo tych wspaniałych osiągnięć niektórych przedstawicieli, ludzie paleolitu i mezolitu nie naruszyli naturalności środowiska. Jeżeli nawet wskutek przebywania w jednym miejscu dochodziło do pewnego stopnia antropogenizacji, przyroda szybko zacierała jej ślady.

Poważniejsze zmiany w środowisku zapowiadało pojawienie się na horyzoncie ludów kultur rolniczych i wkroczeniu ich do Europy w epoce zwanej neolitem. Rolnictwo, nawet w swej pierwotnej formie, dawało szansę stworzenia zapasów,

a w wyjątkowo urodzajnych latach nadwyżek, i ich wymiany, co umożliwiło pierwociny handlu. Część ludności mogła oderwać się od bezpośredniej produkcji i rozpocząć działanie na innych polach, między innymi zająć się np. górnictwem krzemienia i produkcją narzędzi. Wymiana handlowa pozwalała wyjść poza własne opłotki, o czym świadczy choćby obszar znalezisk narzędzi z krzemienia z Krzemionek Opatowskich od Horynia i Niemna po Odrę i od Moraw po północną Bałtyku. Nic więc dziwnego, że neolityczną rewolucję rolniczą wielu uważa za co najmniej równą rewolucji przemysłowej XIX w., czy atomowej po 1945 roku.

Ta nowa cywilizacja dotarła do nas z Bliskiego Wschodu gdzie jej początki datuje się na przeszło 10 000 lat p.n.e. Na opanowanie Europy konieczne było kilka tysiącleci, jako że w Wielkiej Brytanii czy Skandynawii dowody na świadome wykorzystanie ziemi pochodzą z czwartego tysiąclecia p.n.e..

Istotniejsze zmiany w środowisku mogły dokonać się na obszarach gwarantujących możliwość dłuższego zasiedlenia, tam gdzie samorzutnie następowało odtworzenie zasobów i żyzność gleb. Jak dowodzi tego rozmieszczenie najstarszych centrów kulturowych były to przede wszystkim obszary nadrzeczne, gdzie wylewy, szczególnie regularne, nanosiły żyzne aluwia (Egipt, Mezopotamia, dolina Indusu, Hoang-ho, Jerycho). O zaawansowaniu wykorzystania rolniczego ziemi, świadczyć może znaleziony przez archeologów w Palestynie kalendarz czynności rocznych rolnika, sprzed 8000 lat. Podobnie i w Europie ślady długotrwałego zasiedlenia neolitycznego znajdujemy na aluwium np. Bałkanów. Na terenie Europy Centralnej warstwy kulturowe są cieńsze. Świadczy to o względnie szybkim opuszczaniu miejsc zagospodarowanych. Zmuszał do tego system gospodarowania, przy ówczesnym prymitywizmie narzędzi do uprawy gruntu.

Dominowała nowinowa gospodarka żarowo-kopieniacza. Jej istota zasadzała się na wypaleniu naturalnej roślinności i sadzeniu nasion w popielisko po punktowym wzruszeniu powierzchni gleby motyką lub kijem kopieniaczym. Gruntowniejszemu oczyszczeniu terenu sprzyjało pojawienie się narzędzi jeszcze kamiennych ale już przydatnych do czynnego usuwania nawet roślinności drzewiastej. Tym narzędziem była siekierka z gładzonego kamienia.

Polska nie odbiegała od europejskich standardów rozprzestrzeniania się rolniczych kultur neolitu [18]. Wkroczyły one do nas od południa i południowego wschodu ok. 4500 lat p.n.e.. Nosiciele tej kultury zebrali już pewne doświadczenie co do jakości gleb, lub autochtoni zdołali je zgromadzić z okresu zbieractwa i łowiectwa bowiem najliczniejsze ich stanowiska napotykamy na glebach najlepszych (rys. 1). Na glebach tych mogło dojść do znaczniejszych wylesień, a



**Rys. 1.** Skupiska rolniczych kultur neolitu (plemion naddunajskich) – 3, 4, na tle gleb lessowych – 1 i czarnych ziemi – 2 [57]

**Fig. 1.** Concentration of rural Neolithic cultures (near Danube tribes) – 3,4, on loess soils – 1; on block earths – 2

przyczyną było uzyskiwanie bardzo niskiego plonu wynoszącego 1,5-2 ziaren z jednego zasianego. W tej sytuacji 4-ro osobowa rodzina potrzebowała ok. 100 ha gruntu aby zapewnić sobie egzystencję. Raczej nie była w stanie uprawić takiej powierzchni i uzupełniała bilans żywnościowy łowiectwem i zbieractwem, a pod koniec neolitu coraz intensywniej rozwijającym się pasterstwem.

Cienkie warstwy pozostałości po osadnictwie neolitycznym wskazują, że nie mogło ono mieć istotniejszego wpływu ani na poprawę jakości ani drastyczniejsze formy degradacji gleb. Wspomniane oznaki wskazują, że rolnictwo było typowo przerzutowym. Technika żarowa pozwalała bowiem wykorzystywać określony obszar nie dłuższy jak 15 lat, tyle bowiem lat trwało wyjałowienie gleby, nawiezionej jednorazowo popiołem. Regeneracja pola trwała ok. 45 lat, tak że dopiero trzecie pokolenie wracało ewentualnie na ten sam teren. Zabieg – palenie, nie miał i znacząco negatywnego wpływu. Narzędzia, z dominacją motyki i kija kopieniowego nie naruszały istotnie powierzchni gleby. W tej sytuacji erozja nie

mogła rozwinąć się intensywniej. Świadczą o tym np. słabe przemieszczenia gleb na terenach lessowych Dolnej Saksonii i to nie tylko notowane na stanowiskach archeologicznych neolitu, ale aż do czasów cesarstwa rzymskiego [8].

Pod koniec neolitu, w tym i na terenie Polski pojawia się miedź jako zapowiedź nowej ery. Ma to miejsce tylko na południu. Na północno – wschodzie króluje w pełni nawet mezolityczny tryb życia łowiectwo i zbieractwo. O powolności postępu niech świadczy fakt, że kopalnie i wytwórnie narzędzi w Krzemionkach nie zmieniają techniki produkcji przez kilkaset lat.

W tym czasie wyraźnie zmieniły się proporcje w formie gospodarowania. Epoka miedzi zbiega się końcem okresu atlantyckiego i jego załamaniem klimatu, co w gospodarce odbiło się w dominacji pasterstwa nad uprawą roli i z tą formą, jako główną, ludzkość obszarów Europy Centralnej wkroczyła w okres brązu.

Okres brązu nie wybuchł jednocześnie w całej Europie. Przyjmuje się, że do naszych południowych krańców dotarł on ok. 1800/1700 lat p.n.e., czyli o ok. 200 lat później niż dotarł do Grecji, a gdy u nas przemijał, ta wkraczała już w okres archaiczny. Miała już w swej historii i bohaterski okres wojny trojańskiej i jej piewę Homera.

Okres brązu wniósł istotny wkład w kształtowaniu się oblicza Europy w tym i Polski. Wówczas to bowiem wyodrębnili się praprzodkowie głównych grup Europejczyków Europy Centralnej. Co więcej, w czasach przypadających na brąz kultury łужицьkiej zaznaczyła się wyraźna jedność kulturalna Europy od Hiszpanii aż po Bug.

Podobnie jak kultury neolityczne, epoka brązu wkroczyła na nasz kontynent od południowego-wschodu i południa. Nie było to wkroczenie rewolucyjne. Długo jeszcze formy gospodarowania były podobne jak u schyłku neolitu z dominacją pasterstwa i z uprawą roli na dalszym planie. Walka o prymat trwała nawet tam, gdzie rolnictwo było na wyższym poziomie. Abraham w XIX w. p.n.e., wkroczył do Palestyny jeszcze jako pasterz-nomada, a lud Izraela długo musiał zwalczać chętnie zresztą przyjmowane kultury miejscowych bóstw płodności, związanych z rolnictwem.

Potwierdza to Biblia, w której historia o Kainie i Ablu wyraźnie wskazuje po czyjej stronie opowiada się jej autor. Według niego, jeszcze wówczas plemienny Bóg Izraelitów aprobeje pasterza Abła a z niechęcią odnosi się do rolnika Kaina.

O rozmiarach dominacji pasterstwa może świadczyć zauważalny już pod koniec neolitu, zanik wiązu. Część archeologów uważa, że przyczyną było gromadzenie na paszę jego ulistnionych gałęzi oraz kory.

Potwierdzeniem z terenu Polski jest odkrycie nie mniej słynnej jak późniejsza osada, zagrody dla bydła w Biskupinie. Jej rozmiary pozwalają sądzić, że mieściło się w niej ok. 800 sztuk bydła, a więc wcale pokażne stado. Wypas miał niewątpliwie

wpływ na przerzedzanie roślinności, ale nie mógł istotnie wpłynąć na gleby. Nie ma podstaw sądzić, że i uprawa gruntów, przynajmniej we wcześniejszych fazach epoki brązu, bardziej oddziaływała na gleby niż w neolicie. W dalszym ciągu główną formą użytkowania gruntów była gospodarka żarowo – kopieniacza. Mimo poznania walorów nowego metalu, w powszechnym użytkowaniu były narzędzia charakterystyczne dla neolitu. Miało to miejsce nie tylko na obszarach wkraczania brązu lecz i od dawna zagospodarowanych, na Bliskim Wschodzie a nawet w Egipcie.

Rozwój rolnictwa w Europie nastąpił w pełni epoki brązu, z symptomami dalszego postępu w sensie geograficznym, jak i technice gospodarowania u jego schyłku.

Człowiek przeszedł na system odłogowy, który pozwalał na bardziej osiadły tryb życia niż nowinowy. Na zmianę gospodarowania wpłynął stwierdzony w tym czasie wyż demograficzny i konieczność wyżywienia znacznie większej liczby ludności. Wymusiło to konieczność powiększenia powierzchni uprawnej i zmiany w technice uprawy roli. Najistotniejszym było wynalezienie radła i zastosowanie techniki sprzężanej. Było to jeszcze narzędzie tylko drewniane, nadające się jedynie do zruszania roli bez odkładania skiby. Dawało jednak szansę lepszej uprawy, powiększenia powierzchni gruntów ornych, a tym samym dalszego wylesienia. Miało to i konsekwencje następcze, gdyż wchodząca na porzuczone po wyjałowieniu tereny nowa sukcesja roślin synantropijnych miała, przynajmniej w pierwszym etapie zupełnie inny skład gatunkowy.

Ten system uprawy nie naruszał w istotny sposób równowagi w środowisku glebowym, tym bardziej, że prawie do końca epoki brązu w powszechnym użyciu była i neolityczna technika kopieniacza. Tym niemniej w określonych punktach naszej strefy klimatycznej, głównie tam, gdzie egzystowały neolityczne centra uprawowe, mogły rozpocząć się procesy degradacji. Część wspomnianych centrów ulokowała się na obszarach lessowych sprzyjających ukształtowaniem powierzchni i charakterem gleb pojawieniu się erozji. Niekiedy degradacja erozyjna mogła być znaczniejsza, jeżeli jej wręcz przypisuje się upadek kultury minojskiej w Grecji, a w VI wieku p.n.e. Solon w swej propozycji praw domaga się zakazu uprawy na stromych zboczach. Zakazy te albo nie weszły w życie, lub nie były przestrzegane i już w 200 lat później, tak Platon charakteryzował Attykę „jak można to wnosić z (wyglądu) małych wysp nasza pozostała ziemia przedstawia się w porównaniu z dawną jak kości chorego człowieka po odpadnięciu z nich tego co było tłuste i miękkie, nie pozostało teraz w tej okolicy nic więcej jak tylko szkielet ... . Góry dzisiaj, gdzie tylko pszczoły znajdują pożywienie, jeszcze do niedawna dawały drzewa ... . Woda zsyłana co rok przez

Zeusa nie płynęła na próżno”. Tak się przedstawiał kraj gdzie w czasach bohaterskich Herakles tropił po lasach lwa nemejskiego i sarnę karynejską i wyniósł na postrach Egeuszowi dzika erymentejskiego.

Jednocześnie rolnictwo było na tyle rozwinięte, że w VII w. p.n.e. Hezjod pokusił się o napisanie dla brata “Pracy i dni”. Hezjod był szczególnie predystynowany do napisania tego dzieła. Pochodził z Beocji, jednej z najżyźniejszych krain w Grecji. Za jego czasów nagromadziło się tyle doświadczeń, że mógł je przekazać w formie jakby encyklopedii rolniczej.

Poprawa techniki uprawy, ślady warzywników i sadów świadczą, że być może rozpoczął się okres świadomego ukulturalnienia gleb. Rozszerzeniu gamy roślin uprawnych sprzyjały w IV w. p.n.e. prace Teofrasta, który na tle swych rozważań o roślinach opisał i te przydatne w rolnictwie.

Nowe elementy w rozwoju ludzkości, w tym i rolnictwo, wniosła umiejętność wykorzystywania żelaza. Do Europy, przez Grecję dotarło około X wieku p.n.e., chociaż w Azji pojawiło się znacznie wcześniej. Szczególne zasługi w jego rozpowszechnianiu mieli Etruskowie, a przede wszystkim Celtowie, którzy w VI wieku p.n.e. swój wpływ rozciągnęli od Atlantyku aż po południowo – zachodnią Polskę.

Może jako ciekawostkę warto podać fakt, że II-I w. p.n.e. wspomniany lud uprawiał przede wszystkim jęczmień. Czyżby refleksem tego było wytwarzanie whisky przez potomków Celtów. Wszak do produkcji oryginalnej whisky używa się jęczmienia.

Zastosowanie kroju żelaznego do znanego już radła pozwalało na gruntowniejsze zruszenie powierzchni chociaż jeszcze nie na odwracanie skiby. Ułatwienie techniki uprawy roli spowodowało powiększenie powierzchni upraw, co stało się koniecznością, ze względu na głód ziemi i przeludnienie na pewnych obszarach. Efektem tego była np. Wielka Kolonizacja Grecka, która jednym skrzydłem ogarnęła północne pobraża Morza Czarnego. Niewątpliwie wpłynęła ona na wdrożenie na północ wyższych form gospodarowania, gdyż wśród emigrantów znajdowała się i liczna ludność wiejska. Analogie historyczne wskazują, że emigranci to z reguły najbardziej dynamiczny element.

Możliwość większych zmian w środowisku nie napotkała jednak sprzyjających warunków przyrodniczych. W epoce żelaza nastąpiło wyraźne załamanie klimatu przez oziębienie i zawilgocenie. Sprawilo to nie tylko pogorszenie warunków wegetacji roślin, ale i konieczność wycofania się z uprawianych miejsc niżej położonych i jak np. czarne ziemie, bardzo żyznych. Pasterstwo znów zdominowało uprawę roli. Ponadto, w części południowej, w tym i w Polsce obserwuje się znaczny ubytek ludności. Jest to efekt najazdów Scytów, czy jak uważa część

badaczy Trakoscytów. W epoce żelaza włączają się bardziej dynamicznie w historię Europy plemiona północne. Wprawdzie pogłębiało się wylesienie terenów przez nie zamieszkałych, ale jeszcze nie musiały być to znaczniejsze enklawy, ze względu na opór zwartych lasów tej części Europy i małej gęstości zaludnienia, która np. na naszym Pomorzu wynosiła 1 osobę na 1-5 km<sup>2</sup>.

Znacznie później, już w epoce rzymskiej, środowisko na pobrzeżu Bałtyku było nadal trudne do zagospodarowania. Osiedleni tu Goci poczęli przemieszczać się względnie szybko na południe w poszukiwaniu bardziej sprzyjających warunków bytu, a głównie w poszukiwaniu obszarów przydatnych do rolniczego zagospodarowania. Dowodem może być zatrzymanie się na dłużej tzw. grupy masłomęckiej Gotów w Kotlinie Hrubieszowskiej na pierwszej w ich wędrówce enklawie żyznych gleb. Zagospodarowanie tego terenu, pewien dobrobyt, wynikający z rezultatów uzyskanych na tych glebach spowodował wyższą organizację społeczeństwa, którą specjaliści historii Gotów nazwali proto państwem [26]. Trudno przypuszczać, że organizacja taka powstała w wędrówce, na to potrzeba czasu. Sądzić można że antropogenizacja środowiska uzyskała wyższy stopień niż w otoczeniu. Pośrednim dowodem jest stwierdzenie dużej zawartości P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, niewątpliwie pochodzenia antropogenicznego, pod późniejszymi zresztą wałami i otoczeniu Gródka Nadbużnego.

Schyłek epoki żelaza i okres rzymski niejednoznacznie zaznaczyły się w postępie rolniczego zagospodarowania Europy, a szerzej na obszarze władztwa Rzymu. Wprawdzie pojawiają się opracowania dotyczące gospodarki rolnej jak np. Katona Starszego "De agricultura" ale opierają się jego rady bardziej na doświadczeniach kartagińskich niż italskich. Tu nawet następuje pewne załamanie. Przyczyniły się do tego zniszczenia wojen punickich, a nade wszystko oderwanie żołnierza – rolnika od gospodarstwa, podstawy jego egzystencji. Wyzbywał się więc ziemi, a z jej koncentracji w jednych rękach powstawały latyfundia o gospodarce ekstensywnej, opartej na pracy niewolniczej.

Znaczne odkrycie terenu spod naturalnej roślinności niewątpliwie uruchomiło procesy erozyjne na morfologicznie zróżnicowanym terenie i na obszarach zauważonej koncentracji ziemi. Są jednak dowody ukulturalnienia gleb. Miało to miejsce na plantacjach roślin wymagających większej troski, głównie winorośli i innych roślin specjalnych uprawianych w okolicach Rzymu. Zdjęcia lotnicze z Kampanii wskazują, że były to stosunkowo małe działki, nieźle wkomponowane w pagórkowaty krajobraz. Nie były więc zniszczone przez wspomnianą erozję.

W tym czasie terenem bardziej zaawansowanym rolniczo była Galia. Tam wynaleziono pług kolesny, przydatny do ukulturalniania gleb ciężkich, a nawet jak wspomina

Pliniusz Starszy w swej Historii naturalnej kosiarkę, a dokładniej zrywarkę kłosów. Trendy postępu sięgnęły nawet poza obszar Galii, aż do Wielkiej Brytanii.

Obszarem intensywnego rozwoju rolnictwa stały się również Hiszpania w Europie, północna Afryka i część Azji Mniejszej. Poza spichlerzem Rzymu Egiptem, intensywny rozwój uprawy zbóż obserwuje się na przyjętych od Kartaginy, a szerzej Fenicji obszarach. Jest to związane z rzymską kolonizacją, przejściem i poszerzeniem terenów irygowanych. Stosowana na szeroką skalę irygacja była przyczyną rozkwitu rolnictwa na Bliskim Wschodzie. Ukulturalnienie gleb musiało być względnie wysokie gdyż tego wymagały specjalne uprawy winorośli, oliwek, orzechów pistacjowych i fig, tych ostatnich wyjątkowo cenionych w Rzymie. Do dziś szalotka zawdzięcza swą nazwę Askalonowi w Syrii, gdzie była masowo uprawiana.

Można sądzić, że rolnictwo w granicach władztwa Rzymu oddziaływało na obszary sąsiednie barbarzyńskie. Sprzyjało temu osadnictwo rzymskie w limesach gdzie zakładanie osad wojskowo – rolniczych miało wpływ na sąsiednie tereny, chociaż wyczuwa się w opracowaniach rzymskich autorów np. Tacyty negatywny stosunek szczególnie do Germanów, którym wytyka się koczowniczy tryb życia i brak zainteresowania stałym miejscem zamieszkania. Do pewnego czasu nie była to opinia przesadna, ale już w okresie cesarstwa znajdujemy dowody bardziej osiadłego trybu życia i umacniania się gospodarki rolnej. W tym czasie wspomniane obszary w Dolnej Saksonii były już całkowicie wylesione [8].

Miało to miejsce na rubieży ze Słowiańszczyzną i są to dowody, że poziom gospodarowania nie był tu niższy niż u Germanów. Na terenie Polski, w starych centrach rolniczych jeszcze neolitycznych i z brązu mamy ślady nowocześniejszej organizacji agrocenozy w postaci dwupolówki. Mając wcześniejsze doświadczenia stosowano nawożenie popiołem uzyskiwanym z palenia mierzwy. Pliniusz sugeruje nawet, że Słowianie używali już wapna do użyźniania gleb.

Okres wędrówki ludów i wczesnego średniowiecza jest trudny do jednoznacznej oceny oddziaływania człowieka na środowisko. Jest on uważany, przynajmniej do VI wieku n.e. za czas chaosu, a nawet ruin i popiołów. Liczne już pisane dokumenty nie poświadczają tej apokaliptycznej wizji, co więcej, jest to okres kształtowania się Europy wiejskiej, z dominacją tej formy bycia, nawet elit społecznych [34]. Proces ten rozpoczął się jeszcze w okresie rzymskim, a nawet rozwinął się i umocnił w państwach stworzonych przez plemiona germańskie oraz w trwającym nadal Cesarstwie Bizantyjskim. W tym ostatnim paradoksalnie oparcie gospodarki państwowej o rolnictwo sprzyjały klęski spowodowane najazdami, w tym głównie Arabów, którzy spowodowali upadek miast, wcześniejszych centrów handlu.



Jeżeli nastąpiło obniżenie poziomu i tak zresztą ekstensywnego rolnictwa, to mogło nastąpić na drodze pochodzenia Hunów, tak jak już w dobie wczesnego średniowiecza na drodze Awarów, Węgrów, Bułgarów czy wreszcie Słowian. Te ludy pasterskie i koczownicze na pewno w fazie przed osiedleniem mniej dbały od autochtonicznej ludności o uprawę roli.

Większe znaczenie względnemu zastojowi szczególnie w basenie Morza Śródziemnego i Galii przypisuje się czynnikowi demograficznemu, ograniczonemu przez falę epidemii, głównie dżumy. Wskutek tego ludność Europy dopiero w dziesiątym wieku osiągnęła poziom wieku piątego. Wyłanianie się jednak organizmów państwowych, aż do uniwersalnej formy cesarstwa Karola Wielkiego, czy później Ottonów na pewno sprzyjało rozwojowi rolnictwa. Wynaleziono mocny, żelazny pług z odkładnicą pozwalającą na uprawę cięższych gruntów, co przesunęło znacznie granice upraw na północ Europy, a wprowadzenie trójpolówki ograniczyło powierzchnię ugorów do 30%.

Pojawiła się, przynajmniej na niektórych terenach, troska o prawidłowe ustalenie granicy rolno leśnej jak można sądzić z *Capitulaire de villis*.

Do Europy wkroczyły nowe techniki, jak choćby umiejętność irygacji wprowadzona przez Arabów do zajętej przez nich Hiszpanii. Urządzenia te były na tyle doskonałe, że dziś jeszcze są podziwiane przez służby melioracyjne i czasami są odtwarzane z najlepszymi efektami. Wraz z rozwojem życia klasztornego, szczególnie zakonów, mających w swej regule pracę pojawia się ogród, już nie jako bawidełko-atrium domu rzymskiego, a jako ideowo uzasadniona integralna część klasztoru. Zgodnie z ideałem życia mniszego, dążenie do świętości przez pracę na roli było sprawą wielkiej wagi, gdyż lenistwo to nieprzyjaciel duszy. Dawało to szansę ukulturalnienia gleb i powstania hortisoli.

Mimo odtworzenia stanu posiadania rolnictwa, a nawet wspomnianych osiągnięć w organizacji przestrzeni produkcyjnej i technice uprawy roli, w Europie dominował las jako podstawowy element krajobrazu. Jeszcze w IX wieku, już po stabilizacji organizmów państwowych powstałych po rozpadzie cesarstwa Karola Wielkiego rolnictwo europejskie opierało się bardziej na zasobach leśnych, niż na uprawie zbóż. To stwierdzenie odnosi się szczególnie do Europy północnej i wschodniej, w tym i do Polski. Nazwa naszego kraju wywodzi się od plemienia Polan zamieszkujących pola czy polany w dzisiejszej Wielkopolsce. Zdziwiającym jest jednak, że jeszcze w IX wieku plemienia tego nie wymienia Geograf Bawarski wśród ludów zamieszkujących wspomniany obszar, choć zna bogatych w liczne grody sąsiednich, np. Goplan. Jest również interesującym, że Polan nie usadowiono na południu, gdzie obszary polne były liczniejsze i większe.

Wydaje się więc, że nazwa Polanie może być zbiorowym określeniem różnych plemiennie zespołów ludzkich. Podstawą nazwy byłoby rzucające się w oczy zamieszkanie odkrytych, uprawianych terenów wśród dominujących lasów. Wszak jeszcze Gall Anonim mówi o kraju naszym jako lesistym.

Z dziejów Słowiańszczyzny można wysnuć i inną możliwość. Istniał jeszcze bowiem jeden obszar w dorzeczu Dniepru lub Prypeci, zamieszkały przez plemię lub grupę ludzi o identycznej nazwie. O nich Nestor, kronikarz ruski, pisze w kontekście z innymi plemionami. "Polanami zaś przewani byli ponieważ w polu siedzieli, a język mieli słowiański". Niektórzy badacze sądzą, że część z nich wywędrowała na zachód i osiedliła się w Wielkopolsce. Jest to możliwe. Podobnie, jak wspominają kronikarze ruscy, od plemion o pochodzeniu lechickim (Wiatycze) część oderwała się od swych korzeni i przeniosła daleko na północny wschód, aż nad Okę.

Poziom naszego rolnictwa nie musiał w opisywanym okresie istotnie odbiegać od poziomu najbliższych zachodnich sąsiadów. Mówi między innymi o tym nasycenie ludnością terenu oraz relacja Ibrahima ibn Jakuba. Gęstość zaludnienia wynosiła w Polsce ok. 5 os/km<sup>2</sup>, gdy w Niemczech ok. 10, na Morawach i Czechach - 6, a Rusi Kijowskiej 3 osoby/km<sup>2</sup>. Nawet jeśli opis państwa Mieszka Ibrahima odnosi się do od dawna zarysowanych centrów rolniczych to pisze on, że siano jesienią i wiosną co wyraźnie wskazuje na obecność roślin jarych, jednego z ogniw trójpolówki. Ten sam autor wspomina o istnieniu sadów i warzywników, co świadczy przynajmniej o umiejętności wyszukiwania gleb najlepszych.

Względna stabilizacja w Europie w pierwszych trzech wiekach naszego tysiąclecia spowodowała podwojenie się ludności Europy.

Pociągnęło to konieczność, albo uintensywnienia produkcji, albo powiększenia obszaru terenów uprawianych. Z reguły następowało dalsze przesunięcie granicy rolno leśnej na korzyść gruntów ornych. Układ stosunków społecznych na wsi przechylił się na korzyść wielkiej własności ziemskiej i pogłębiło się poddaństwo chłopca. Obciążenia pańszczyźniane i podatkowe ze strony państwa przybierały formy na tyle drastyczne, że wywoływały bunty chłopskie (żakerie). Tym niemniej okres do XIV wieku można uznać za czas względnej pomyślności. Niestety na zachodzie Europy nastąpił krach spowodowany wielkim głodem. Po wyczerpaniu zasobów gleb lepszych, a nawet zagospodarowaniu gleb ubogich, nie produkowano wystarczającej ilości żywności, przede wszystkim zbóż. Ponad to w ciągu XIV w. dziesiątkowały niedożywioną ludność kolejne fale dżumy. Ogromne obszary odłogowały i częściowo pokryły się naturalną roślinnością. Paradoksalnie zmniejszenie obszarów upraw sprzyjało postępowi w rozwoju hodowli. W tym czasie zarysowało się powstanie znanych do dziś centrów chowu

bydła rogatego w Danii, Niderlandach czy Normandii, owiec w Anglii, czy konia fryzyjskiego, świętej siły pociągowej. Powstała nawet możliwość ukulturalnienia gleb, różnego jakościowo niż na przeciętnych polach. W tym czasie powstały znane do dziś centra uprawy winorośli w Nadrenii, Alzacji czy Burgundii.

W Polsce, większość ziemi należała do wolnego kmiecia, ale już w czasach pierwszych Piastów rozpoczęła kształtować się większa własność ziemska, zgodnie z ogólnoeuropejskimi trendami. Podstawą tworzenia się warstwy ziemian rycerzy były nadania ziemi jako podstawa bytu. Zwalniało to skarb królewski czy książęcy od utrzymywania drużyny. Podobnie jak w Europie, proces ten nie przebiegał bezkonfliktowo. Być może on był przyczyną niepokojów w państwie u schyłku panowania Bolesława Chrobrego o czym enigmatycznie wspominają kronikarze. Najazdy mongolskie, które szły zagonami głównie południem Polski i nie doprowadziły do trwałego podporządkowania kraju, jak na Rusi, gdzie, jak pisze kronikarz, rzadko w polu odzywali się rataje. Straty w tym i na wsi wyrównane zostały osadnictwem niemieckim, które sięgnęło również i na obszary północne, głównie na Pomorze. Szczęśliwie kraj nasz ominęła główna fala epidemii, a głód na zachodzie przyczynił się nawet do powiększenia terenów uprawnych. Wykorzystująca koniunkturę Hanza uintensyfikowała handel zbożem, a wśród przewożonego towaru polskie i pruskie żyto stanowiło znaczny procent. Dowodzi to powiększenia terenów uprawnych na północnych gorszych glebach. Hanzie było niewątpliwie bardziej ekonomicznie skupować żyto, zboże gleb gorszych, na bliskim zapleczu, niż wozić go z daleka. O tym, że było to zboże miejscowe dowodzi nie mniejszy udział w wywozie żyta pruskiego.

W XV i XVI wieku zmianom w rolnictwie i powiększeniu dużej własności ziemskiej, oraz wzrostowi powierzchni gruntów ornych sprzyjały wielkie odkrycia geograficzne. Na zachodzie przyczyniły się do przeszczepienia na grunt europejski nowych roślin i nowych technik uprawy, ale generalnie spowodowały wyraźny spadek produkcji zbóż, podstawowego surowca chlebowego. Wzmogło to produkcję w centralnej i wschodniej Europie z pozytywnymi skutkami ekonomicznymi dla właścicieli ziemskich. Spowodowało to nawet powstanie w Polsce specyficznej filozofii życia wyrażonej najpełniej strofami z "Flisa" Sebastiana Klonowica, rajcy, burmistrza i poety lubelskiego "Lecz miła Polska na żyznym zagonie, zasiała jako u Boga na tronie może nie wiedzieć Polak co to morze, gdy pilnie orze".

Pochwałę wsi głosił, jeszcze chropowato, Mikołaj Rej, a już szczególnie Jan z Czarnolasu, który nowoczesną polszczyzną wychwalał życie wiejskie w Pieśni Świętojańskiej o sobótce.

Run na zboże, szczególnie widoczny w XVI w. najlepiej ilustrują ilości zboża wywożonego przez Gdańsk: 1500 r. – ok. 5500, 1563 r. – 66000, 1618 r. – 118000 łasztów (1 łaszt gdański 60 korców). Nadwyżek eksportowych nie uzyskano jednak poprawą agrotechniki, czy organizacją rolnictwa. Metody pozostały ekstensywne. Stało się to przez coraz większą eksploatację siły roboczej coraz bardziej poddanego chłopu. Uzasadnieniem jest fakt, że największa wydajność folwarków w XVI w. zaobserwować można w czasie największego wzrostu świadczeń chłopu na rzecz dworu. Można nawet przypuszczać, że na polach chłopskich obniżył się poziom agrotechniki, gdy uprawą ich zajmowały się kobiety i młodsza progenitura, a siła męska pracowała na pańskim. Warto zaznaczyć, że chłopci wówczas stanowili ok. 60% ludności kraju, a z tej liczby tylko ok. 20% było wolnymi od pańszczyzny. Nic więc dziwnego, że pod koniec istnienia I Rzeczypospolitej najbardziej światłe umysły przedstawiały przerażający obraz życia wsi. U podłoża krachu w rolnictwie, czego dowodem jest załamanie handlu zbożem (1751 r. 50000 łasztów) obok przyczyn ekonomicznych były wojny, a przede wszystkim szwedzki potop, a później wojna północna. Pośrednim dowodem niech będzie fakt, że jeden z przedstawicieli rodzin mieszczan Kazimierza n. Wisłą wzbogaconych jak całe miasto na handlu zbożem, po wojnach szwedzkich prosi z powodu ubóstwa o bezpłatny pochówek.

Doświadczyliśmy doli jaka wcześniej dotknęła kraje niemieckie najpierw podczas wojny chłopskiej, a później w czasie wojny trzydziestoletniej, a której symbolem stał się rysunek A. Dürera przedstawiający chłopu z mieczem wbitym w plecy.

Brak postępu w rolnictwie europejskim w wieku XVII i praktycznie przez cały wiek XVIII był efektem nie tylko wojen, klęsk głodu i epidemii, ale przede wszystkim braku postępu technicznego i feudalnych stosunków społecznych na wsi. Do kryzysu pod koniec tego okresu przyczyniły się jeszcze lata wyjątkowego nieurodzaju. Suma przyczyn politycznych i ekonomicznych, w tym i sytuacja na wsi, spowodowała mniej lub bardziej gwałtowne wstrząsy w Europie, poczynając od rewolucji francuskiej, aż po późne lata wieku XIX. Załamanie się systemu feudalnego, ale przede wszystkim postęp techniczny, dzięki rozwojowi przemysłu rozpoczęły szereg jakościowych zmian w środowisku rolniczym. Postęp rozpoczęty w Anglii stopniowo rozszerzał się na całą Europę, ale na jej wschód dotarł dopiero w drugiej połowie XIX wieku.

Postęp techniczny spowodował jednak, że oblicze Europy przestało być rolnicze. Poczęła dominować cywilizacja przemysłowa, mimo że jeszcze w 1900 r. większość ludności mieszkała na wsi. Niestety, po raz pierwszy w swej historii rolnictwo polskie wyraźnie odstąpiło od europejskiego, co więcej, zróżnicowało

się wyraźnie na obszarze Rzeczypospolitej. Zmiany na lepsze, choć połowiczne, zapowiedziane przez Konstytucję 3-go Maja, wraz z jej obaleniem, a później utratą niepodległości nie weszły w życie. Po rozbiorach kraj znalazł się w trzech zupełnie innych układach. Najistotniejszy w owym czasie dla postępu problem uwłaszczenia rozciągnął się znacznie w czasie. Istotne zmiany w rolnictwie nastąpiły najpierw w zaborze pruskim. Obszar ten stał się względnie szybko kulturalnym krajobrazem rolniczym, na którym nie tylko przystosowano się do naturalnych warunków ale i świadomie je kształtowano przez melioracje wodne, czy przedsięwzięcia agroekologiczne (np. w Turwi generała Chłapowskiego).

Odmienne kształtowały się warunki w zaborze austriackim. Względnie wczesne uwłaszczenie nałożyło się na wyjątkowe rozdrobnienie własności chłopskiej. Rolnik nie dysponował możliwościami poprawy poziomu gospodarowania. Przy niskim poziomie techniki, ratował się środkami ekstensywnymi, a przede wszystkim przesunięciem granicy rolno – leśnej do granic ostatecznych, co szczególnie widać do dziś w Karpatach.

Paradoksalnie rozdrobnienie i głód ziemi były przyczyną niezłego, spon-tanicznie uformowanego, wkomponowania pól w krajobraz, co dało zabezpieczenie przeciwoerozyjne gleby. Widoczne jest to szczególnie na Pogórze Karpackim.

Przeludnienie rozładowywano jednak głównie przez emigrację. Nabrzmiąta kwestia chłopska, nieuregulowane stosunki z wielką własnością, wybuchły rabacją w 1846 r., a później spowodowały rozwój prężnego, zorganizowanego ruchu ludowego.

Najpóźniej podjęto próbę rozwiązania kwestii chłopskiej w zaborze rosyjskim, gdyż dopiero manifestem rządu narodowego w powstaniu styczniowym, teoretycznie, a ukazem carskim praktycznie. Rozwiązania uwłaszczeniowe były w wielu przypadkach połowiczne. Pozostawiono np. serwituty, które stanowiły zarzewie nieporozumień między dworem a chłopem, a ekologicznie nie sprzyjały szczególnie lasom. Pozwolenie na wyrąb prowadziło do rabunkowej gospodarki, jak zresztą i niekontrolowany wypas bydła. Zbyt mała powierzchnia gruntów podległych uwłaszczeniu, wywołała przeludnienie wsi, jej rozwarstwienie. Wraz z małą możliwością odejścia od zawodów poza rolniczych rozdrabniało to stan posiadania, a poszukiwanie nowych terenów uprawnych również doprowadziło do naruszenia dopuszczalnej biologicznie granicy rolno-leśnej.

Dowodem na słabą pozytywną antropogenezację gleb w Polsce jest fakt, że na jej znacznych obszarach, szczególnie północno-wschodnich, system trójpolowy zanikł dopiero w XX wieku. Istotnym dowodem jest również fakt, że jeszcze

w pierwszej połowie XX w. plony zbóż średnio wynosiły 1,0-1,2 t/ha. Są to w przybliżeniu plony ekstensywnego rolnictwa strefy umiarkowanej humidowej. Jeżeli uzmysłowimy sobie, że na średnią tę składają się plony gleb dobrych i słabych, to możemy uznać, że pozytywna antropogenizacja gleb w Polsce nie była zbyt wyraźna. Potwierdza to mniemanie fakt natychmiastowego spadku plonów w konsekwencji obniżenia ze względów ekonomicznych nawożenia mineralnego w ostatnich latach. Naturalnie należy wziąć poprawkę na obszary specjalnego przeznaczenia (ogrody, chmielniki) oraz na większych obszarach na regiony o wyższej kulturze rolnej (np. Wielkopolska, Opolskie).

Faza antropogenezy jest zdecydowanie odmienna w swych efektach oddziaływania na pokrywą glebową w stosunku do wcześniejszych faz geologiczno-glebotwórczych. Przejawia się to głównie w jednoczesnym, a dwubiegowym oddziaływaniu człowieka, jego czynności ukulturalniających i działania degradującego. Obydwu tych zjawisk przyroda jako taka przed pojawieniem się człowieka nie знаła, a rozumując abstrakcyjnie, nie zna ich i aktualnie.

Skutki antropogenizacji są lub mogą być głębokie. Następuje:

- 1) zanik wskaźników diagnostycznych i ujednoczenie pokrywy glebowej szczególnie tam, gdzie w procesie tworzenia głębokiej i żyznej warstwy w jej zasięgu znajdują się nie tylko były poziomy O lub A, ale i poziomy głębsze. Stawia to zupełnie nowe zadania np. przed kartografią gleb na gruntach ornym;
- 2) paradoksalnie, ale dojść może i do znaczniejszego zróżnicowania gleb antropogenizowanych w stosunku do naturalnych. Jaskrawym przykładem jest gwałtowne pomnożenie różnych jednostek pokrywy gleb erodowanych obszarów lessowych. Jak wskazuje podany przykład, efekt ten może wystąpić wskutek antropogenicznej działalności, nie zróżnicowanej ze względu na specyfikę gleb i terenu. Może to doprowadzić do degradacji, a nawet całkowitej destrukcji gleb.

Niedokończenie restrukturyzacji wsi daje nam możliwość uniknięcia błędów w dalszym procesie antropogenizacji. Przede wszystkim mamy szansę oprzeć te przemiany, nie tylko na przesłankach ekonomicznych, ale i na właściwej organizacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Mamy znaczne obszary nie zdegradowane rolniczą i poza rolniczą działalnością człowieka, w tym i gleby o względnie naturalnych walorach. Najlepsze winny być zagospodarowane z zachowaniem wszelkich norm agrotechnicznych i wymagań ekologicznych, dla niedopuszczenia do degradacji.

Część gleb, i to wcale nienajgorszych będzie podlegać renaturalizacji. Wymuszają ją względy ekonomiczne, szczególnie przy globalizacji rynku rolnego w

ramach Unii Europejskiej. Pozwoli to na racjonalne odtworzenie granicy rolno leśnej, zabezpieczenie pod naturalnymi zespołami roślinnymi gleb zagrożonych degradacją np. terenów erodowanych. Poza zyskami ekologicznymi, da to szansę zachowania tych gleb przed dalszymi zniszczeniami do czasu ich ponownego zagospodarowania w razie konieczności ekonomicznej i możliwości stworzenia rezerw dla ich czynnej ochrony przeciwoerozyjnej. Realizacja wspomnianych celów stawia określone i wcale niełatwe zadania przed gleboznawstwem i innymi działami nauk związanych ze środowiskiem.

## 2. ZASOBY GLEBOWE ŚWIATA I ICH WYKORZYSTANIE

Feniks znany już w mitologii staroegipskiej legendarny ptak, jest symbolem permanentnego odradzania się z własnych popiołów.

Trudno byłoby doszukać się w przyrodzie tworu – poza glebą, którego losy najlepiej odzwierciedlałyby jego legendę. Niszczona w skali całego globu, lub tylko lokalnie, przez powtarzające się cykle geologiczne, gdy takowe mijały, odradzała się jak Feniks z popiołów, zawsze gotowa do podjęcia swej głównej roli Matki Żywicielki, tego co żyło na współczesnej Jej powierzchni topograficznej.

“I stworzył Bóg człowieka na obraz swój... mężczyznę i kobietę... I błogosławił im Bóg i rzekł do nich. Bądźcie płodni i rozmnażajcie się, abyście zaludnili ziemię i uczynili ją sobie poddaną... . Oto wam daję wszelką roślinę przynoszącą ziarno i wszelkie drzewo, które ma w sobie nasienie, dla was będą one pokarmem... A Bóg widział, że wszystko co uczynił, było bardzo dobre...” (Księga Genesis).

W pewnym momencie poczęła więc Ziemia karmić człowieka, jedyne ogniwo przyrody obdarzone świadomością. Przekonanie o zróżnicowanych możliwościach plonotwórczych gleby – ziemi przyszło praktycznie z wkroczeniem w dzieje kultur rolniczych, chociaż pewne doświadczenia musiały być zebrane jeszcze w okresie zbieractwa i myślistwa. Świadczy o tym fakt, że przedstawiciele kultur neolitycznych lokowali się na najlepszych glebach. Gleba w osiadłym społeczeństwie miała wpływ tak na materialną jak i duchową stronę bytu człowieka. Objawiło się to w systematycznym zdobywaniu wiedzy o glebie inspirującej postęp w jej ulepszaniu z drugiej mnożyło kultury związane z ziemią, szczególnie tam, gdzie rozum ludzki nie mógł sobie poradzić z jej tajemnicami. Długo jednak człowiek nie uświadamiał sobie, że jego działanie może być i degradujące, a zasoby gleby są niepomnażalne. Refleksja, że są wyczerpywalne najprawdopodobniej nachodziła go już bardzo wcześnie, gdy po jakimś czasie

musiał porzucać zagospodarowany rolniczo obszar gdy ziemia zaczęła mu rodzić ciernie i osty, a nie odplącała godziwym plonem. Nie musiał zresztą daleko odchodzić, by znaleźć godny zagospodarowania obszar nie wchodząc w kolizję z innym człowiekiem – rolnikiem lub pasterzem. Mniemaniu o odtwarzalności walorów gleby sprzyjała możliwość powrotu na opuszczony obszar gdy gleba w niepojęty dlań sposób odzyskiwała swą płodność.

Nawet na obszarach niektórych starych centrów kulturalnych (Egipt) odtwarzające żyzność gleb wylewy Nilu traktowane były jako dar boży, gdyż przyczyny powodzi były poza zasięgiem możliwości udokumentowania ich występowania i systematyczności.

Głębiej, być może zadumały się nad tym ludy niektórych prekolumbijskich kultur środkowoamerykańskich, gdy musiały porzucić obszary nawet już zurbanizowane, z budzącymi zachwyty dziełami architektury i sztuki. Jak sądzą część archeologów stało się to w następstwie kompletnego wyczerpania gleb użytkowanych przez ludy tych kultur. Być może one już musiały daleko szukać nowych miejsc, że do dziś nie wiadomo na pewno gdzie założyły nowe siedliska. Już w czasach nowożytnych w tejsze Ameryce, mógł pionier jeszcze swobodnie obejmować tereny dziewicze, eksploatować je, porzucać, nim prawo własności postawiło opłotki swobodzie. W starej Europie, u nas, też już w czasach nowożytnych, mógł przymusowy czy wolny osadnik iść na ziemie ukraińskie znacząc swój szlak Wołami, Wolicami, Swobodami, symbolami uzyskanej wolności, przynajmniej czasowej, na tych ziemiach. Miarę przemieszczeń uświadamiają spotykane we wschodniej Syberii Orłowszczyzny, Połtawszczyzny, nazwy tęsknoty za opuszczonymi całymi wioskami stronami rodzinnymi, gdy zabrakło zasobów gleby, czy gdy wyczerpały się jej możliwości produkcyjne. A opuszczało się nie byle co, a czarnoziemy Rosji czy Ukrainy. Emigranci z tejsze orali i pustkowia Alberty czy Winnipegu w dalekiej Kanadzie, podobnie jak my w również odległej Wirginii czy Paranie.

Prognozy na najbliższą przyszłość szacują rodzaj ludzki na ok. 6 miliardów istnień. Powoli zaczyna brakować miejsca swobodnego przemieszczania się, a jeśli obserwuje się to zjawisko to nie zawsze oparte jest ono o racjonalne przesłanki i perspektywiczne myślenie. Zasoby glebowe są niepomnażalne i niewymienialne w skali globu i o nie jednakowej przydatności dla rolnictwa. To ostatnie stwierdzenie wynika z samej definicji gleby, jako tworzywa współzależnego od zmiennych w przestrzeni czynników glebotwórczych. W mezo, a nawet mikro-skali było to możliwe do zauważenia konfrontując glebę ze skałą macierzystą, ukształtowaniem powierzchni czy hydrosferą. Do oceny zasobów glebowych



w makroskali dało podstawy odkrycie strefowości gleb przez W.W. Dokuczajewa, w ogólnych zarysach zgodnej ze strefowością klimatu i, co dopiero szczegółowiej sprecyzował N.M. Sybirczew, ze strefami roślinnymi.

Strefowość ta zaznaczona jest najwyraźniej na półkuli północnej ze względu na dominację lądów, a szczególnie na obszarze Europy Wschodniej. Nie ma tam od Arktyki aż po Kaukaz istotnego zróżnicowania morfologicznego, które zakłócałoby dopływ energii słonecznej, głównego czynnika decydującego o klimacie, a pośrednio i innych czynnikach glebotwórczych.

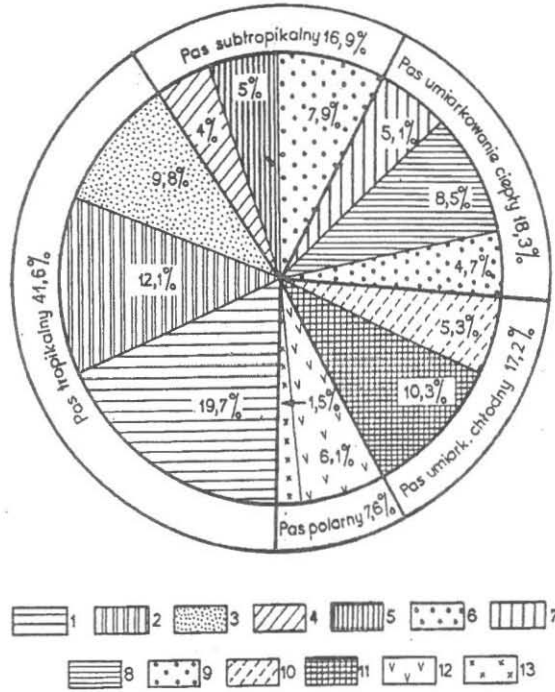
Wyróżnia się następujące klimatyczno-roślinno-glebowe pasy poziome: a) polarny, b) borealny, c) subborealny, d) subtropikalny, e) tropikalny.

Procentowy udział głównych gleb w poszczególnych pasach na terenach równinnych nie pokrytych lodem przedstawia rys. 2, a ich wykorzystanie rolnicze rys. 3.

Pas polarny dzieli się na strefę arktyczną i tundrową. Głównymi glebami strefy arktycznej są gleby poligonalne i strukturalne. Są to prymitywne utwory kształtowane pod przemożnym wpływem niskich temperatur dających średnią roczną poniżej  $0^{\circ}\text{C}$  co powoduje, że decydujący wpływ na utwory glebowe ma wieczna zmarzlina. Zanika ona w okresie krótkiego arktycznego lata w warstwie powierzchniowej głębokiej średnio ok. 40 cm. Dodatkowo silne wiatry nie pozwalają rozwinąć się roślinności wyższej, stąd czynnik biologiczny (mchy, porosty) nie gra istotniejszej roli w ewolucji tych gleb. Gleby strefy arktycznej są nieprzydatne pod użytki rolne.

Strefę tundry charakteryzują również surowe warunki klimatyczne, chociaż na tyle łagodniejsze, że wieczna zmarzlina taje głębiej (nawet do 150 cm w dolinach rzecznych). Złagodnienie klimatu nie jest na tyle znaczne, by mogła rozwinąć się roślinność wyższa. Jedynie na południowy skraj tundry wkraczają forpoczty pasa borealnego w postaci izolowanych enklaw tajgi i związanych z nią gleb. Charakterystycznymi glebami tundry są gleby glejowe w tym części z oznakami bielcowania. Wśród nich występują gleby bagienne (torfowe) a w dolinach rzek gleby aluwialne.

Gleby tundrowe są wykorzystywane jako pastwiska reniferowe i jest to najbardziej racjonalny sposób ich użytkowania. Część gleb tundry może być traktowana jako rezerwa pod grunty orne o czym świadczą drobne poletka w miejscach głębszego tajania wiecznej zmarzliny. Nie daje to jednak nadziei zwiększenia wykorzystania gleb tej strefy jako gruntów ornych przy dzisiejszym poziomie techniki, a przede wszystkim zabezpieczenia energetycznego nawet w bogatych państwach świata.



**Rys. 2.** Procentowy udział ważniejszych gleb na Ziemi dla wolnych od lodu obszarów równinnych [5]

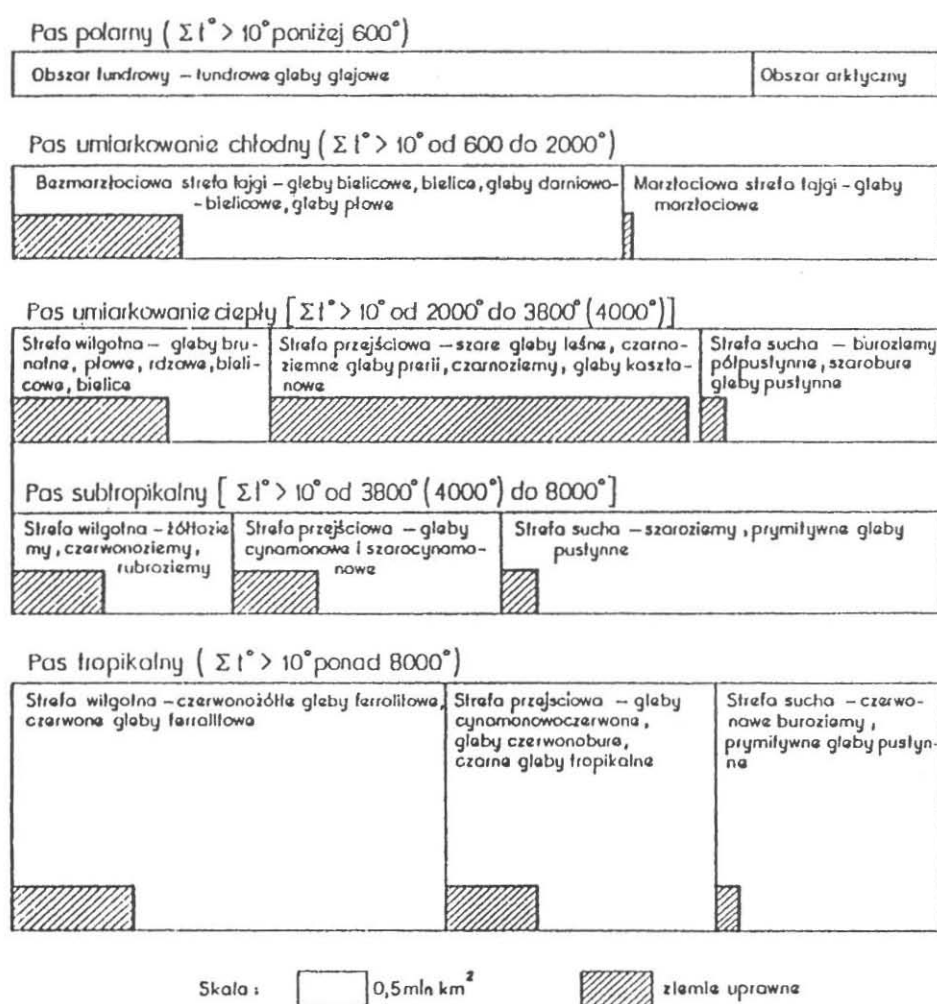
1 – czerwonożółte i czerwone gleby ferralitowe, 2 – gleby cynamonowoczerwone i czerwono-bure oraz czarne gleby tropikalne, 3 – czerwone buroziemi i prymitywne gleby pustynne, 6 – szaroziemie i prymitywne gleby pustynne, 7 – brunatne gleby leśne, gleby płowe, gleby rdzawe, bielice i bielice, 8 – czarnoziemi, czarnoziemne gleby prerii, szare gleby leśne oraz gleby kasztanowe, 9 – buroziemi i prymitywne gleby pustynne, 10 – marzłociowe gleby tajgi, 11 – gleby bielcowe, bielice, gleby darniowo-bielcowe i gleby płowe, 12 – tundrowe gleby glejowe, 13 – grunty (gleby) poligonne i strukturalne

**Fig. 2.** Percentage share of main soils on Earth free from ice of lowlands

1 – ferralsols, plinthosols, acrisols. 2 – calcisols oraz vertisols. 3 – gypsisols, calcisols, arnosols. 4 – agrisols, alisols. 5 – calcisols. 6 – gypsisols, arenosols. 7 – cambisols, luvisols, podzols. 8 – chernozems, phaeozems, greyzems, kastanozems. 9 – gypsisols, arenosols. 10 – podzols, podzoluvisols, regosols. 11 – podzols, podzoluvisols, luvisols. 12 – gleysols. 13 – pattern grounds (polygonal soils)

Gleby tundrowe spotyka się i poza właściwą strefą uwarunkowaną szerokością geograficzną, w terenach górzystych. Dotyczy to części pasa borealnego, a nawet częściowo subborealnego głównie Azji, Ameryki Północnej i fragmentów Europy. Ich obecność zmniejsza zasoby glebowe przydatne dla rolnictwa tej strefy.

Pas borealny nie jest jednolitym, mimo że decydującym czynnikiem glebotwórczym są zimny klimat z przewagą opadów nad ewaporacją oraz wszechogarniająca tajga. W części północnej istotną rolę gra nadal wieczna zmarzlina.



Rys. 3. Udział gleb uprawnych w poszczególnych strefach klimatyczno-glebowych Ziemi [5]  
 Fig. 3. Share of arable soils in respective climatic- soil zones of the Earth

Mimo, że występuje ona głębiej, dynamizuje okresowo procesy glejowe, podobnie jak w strefie tundry. Nie stwarza to warunków siedliskowych, sprzyjających zagospodarowaniu rolniczemu, stąd tylko niewielkie powierzchnie są wykorzystane jako grunty orne.

W części południowej pasa borealnego, tzw. bezzmarzlinowej, przy niskich ale już dodatnich średnich temperaturach roku i znacznych opadach dominuje przemysłowy reżim wodny nie hamowany przez podparcie wieczną zmarzliną.

Roślinność tajgi wzmacnia skutki przemywania gleb stąd w strefie tej przeważają bielice, ku południowi gleby bielcowe, a na lepszych stanowiskach nawet gleby płowe. W całym pasie liczne są różne rodzaje gleb torfowych. Warunki klimatyczne oraz słabe gleby zdecydowały, że tylko ok. 6% powierzchni gleb, i to w południowej części pasa wykorzystuje się jako grunty orne. Pozostałą część zajmuje tajga oraz użytki zielone. Znaczną powierzchnię pokrywają nieużytki. Lepsze, szczegółowe rozeznanie gleb tego pasa, postęp w wykorzystaniu osiągnięć gleboznawstwa, rozwój techniki, sieci komunikacyjnej pozwalają widzieć, szczególnie w południowej strefie tego pasa, znaczne rezerwy powierzchni przydatnych pod pług. Pozostaje problem ekologiczny. Intensywna, niekontrolowana trzebież lasów pasa tropikalnego spowoduje w najbliższej przyszłości znaczne ograniczenie światowych rezerw naturalnej roślinności. W tej sytuacji tajga będzie musiała zastąpić te niszczone zielone płuca świata. Szansę taką stwarzają dwie przesłanki. Jedną jest względnie słabe zaludnienie strefy borealnej, drugą degradujący z punktu widzenia człowieka proces glebotwórczy. W następstwie tworzą się gleby wymagające znacznych kosztów ich ukulturalnienia, wymagającego ciągłej walki z zakwaszeniem oraz pogarszającego się bilansu związków organicznych przy zagospodarowaniu płużnym. Koniecznym jest więc zbilansowanie nakładów i efektów ekonomicznych na tle niewątpliwych globalnych strat ekologicznych. Jest również konieczna analiza przeznaczenia kosztów rolniczego zagospodarowania gleb pasa borealnego na ochronę gleb stref już zagospodarowanych rolniczo, a pokrytych glebami o znaczniejszej potencjalnej żyzności. Takie gleby znajdują się w sąsiednim południowym pasie subborealnym.

Pas ten a dokładniej pasy, gdyż jego fragmenty spotykamy i na dużych szerokościach geograficznych Ameryki Południowej, również nie jest jednolity. O jego podziale decyduje przede wszystkim odległość od oceanów (głównie Atlantyckiego), co wpływa na ilość i roczny rozkład opadów. Pewną rolę gra i temperatura, chociaż cały pas zamyka się w strefie klimatu umiarkowanego.

Wyróżnia się strefy:

- a) wilgotną, najwyraźniej wyodrębniającą się w Europie, mającą swą rubież w przybliżeniu na obszarze Polski;
- b) umiarkowanie suchą, kontynentalną, obejmującą wschodnią Europę i leżącą poniżej strefy borealnej, część Azji oraz znaczną część Kanady i Północnych stanów USA, a w Ameryce Południowej południe Argentyny i Chile;
- c) kontynentalną, wyraźnie suchą, półpustynną, obejmującą część Azji, Ameryki i Europy Wschodniej.

Charakterystycznymi strefowymi glebami tego pasa są: a) w strefie wilgotnej gleby brunatne, płowe oraz na słabszych stanowiskach (piaski) – bielicoziemne, b) kontynentalnej, umiarkowanie suchej – szare gleby leśne, czarnoziemny i gleby kasztanowe, c) kontynentalnej suchej – buroziemny i szaroziemny. Z gleb niefrefowych, występują gleby torfowe i murszowe, czarne ziemie, rędziny w strefie wilgotnej, a w całej strefie kontynentalnej, szczególnie suchej gleby słone. Wybitnie suchą część pasa subborealnego zajmują pustynie.

Pas subborealny jest obszarem Ziemi najintensywniej wykorzystanym rolniczo. Dotyczy to przede wszystkim strefy umiarkowanie wilgotnej, a z kontynentalnej terenów zalegania gleb czarnoziemnych. W przypadku czarnoziemów jest to oczywiste, należą one do najżyźniejszych potencjalnie gleb świata. Strefa umiarkowanie wilgotna w Europie została zagospodarowana rolniczo ze względów demograficznych. Podstawą był szybki wzrost zaludnienia głównie po opanowaniu epidemii dżumy i cholery trapiących ludność Europy w średniowieczu. Przyczyny demograficzne były powodem zagospodarowania i wschodnich stanów USA, gdy napływ emigrantów powiększał ich zaludnienie, a Zachód i środkowe stany, nawet z lepszymi glebami, były niedostępne dla inwazji białego człowieka. Globalnie pas subborealny jest zagospodarowany rolniczo w 50% i tkwią w nim jeszcze pewne rezerwy glebowe, ale pełne zagospodarowanie ich jako grunty orne, byłoby niecelowe ze względów środowiskowych. W strefie wilgotnej do zmiany użytkowania pozostają w zasadzie gleby dziewicze terenów urzeźbionych, lub pod lasami na najuboższych siedliskach.

W pierwszym przypadku bezkrytyczne wejście z pługiem powiększyłoby tereny zagrożone erozją (patrz rozdział 4.2). W drugim byłoby to zupełnie bezcelowe, jeżeli generalnie już naruszona została granica rolniczo – leśna, w niektórych przypadkach nawet drastycznie. Rozważyć raczej należy dolesienia znacznych obszarów tej części Europy, dla poprawy mezo- i mikroklimatu, a szczególnie stosunków wilgotnościowych.

Do wykorzystania są rezerwy strefy czarnoziemnej. Mimo wyjątkowej żyzności tych gleb problem ich zagospodarowania płużnego nie jest prosty. Strefa czarnoziemna znajduje się w obszarze intensywnych ruchów powietrza a braku roślinności leśnej. Erozja wietrzna jest więc głównym destrukcyjnym zjawiskiem na tym obszarze w okresach przesuszenia tych gleb a braku okrywy roślinnej. Dodatkowym potencjalnie destrukcyjnym elementem jest występowanie wyspowa gleb słonych. Zaoranie tych gleb, pozbawionych struktury agregatowej, uruchamia,

szczególnie na nich, procesy erozyjne. Łatwe przeniesienie słonego materiału glebowego wpływa destrukcyjnie na niezasolone gleby czarnoziemne.

Znaczne rezerwy ze względu na jakość gleby tkwią na obszarach gleb kasztanowych. Są to bowiem gleby potencjalnie żyzne, chociaż np. w przypadku zasobów próchnicy leżą poza obszarem maksymalnego ich gromadzenia. Możliwości zagospodarowania tych gleb są ograniczone brakami wody, a można sądzić, że i w przyszłości woda będzie podstawowym ogranicznikiem rolniczego użytkowania tych gleb. Przykładem już ze strefy subtropikalnej mogą być poważne zakłócenia ekologiczne dużych powierzchni. Uzbekistanu, w dorzeczu dwu potężnych, znacznie większych niż Wisły, rzek – Amu- i Syr-Darii. Poszerzenie monokultury bawełny, na tyle wyczerpało zapasy wodne tych rzek, że utrzymywana przez nie równowaga hydrologiczna jeziora Aralskiego uległa kompletnemu zachwianiu. Dziś ten skarb ekologiczny Azji Środkowej jest tylko swym cieniem.

Pas gleb subtropikalnych występuje zarówno na półkuli północnej jak i południowej. Ze względu na zróżnicowanie stosunków wilgotnościowych można podzielić go na strefy:

- a) wilgotną o zdecydowanej przewadze opadów nad parowaniem,
- b) przejściową, półpustynną, w której ilość opadów jest w przybliżeniu zrównoważona parowaniem,
- c) suchą, o przewadze parowania (czasem zdecydowanej) nad ilością opadów.

Charakterystycznymi glebami strefy wilgotnej są: żółtoziemi i czerwonoziemi, a wśród tych ostatnich rubroziemi, bogate w próchnicę; strefy przejściowej – gleby cyrkonowe; suchej – szarozemi i prymitywne gleby pustyń.

Pas gleb subtropikalnych jest wykorzystywany niejednakowo. Prawie niewykorzystana jako grunt orny jest strefa sucha, ze względów na niedobory wody, a i pasterstwo nie znajduje tu najlepszych warunków. Intensywnie zagospodarowana jest jednakże strefa przejściowa i wilgotna i w niej ewentualnie można poszukiwać rezerw pod grunty orne, także ze względów demograficznych jak i ekonomicznych. W strefie tej znajdują się głównie obszary uprawy ryżu, ale i zamieszkiwania 1/3 ludności Ziemi. Zapewnienie tej ludności miski ryżu dzień po dniu ogłaszane było niemalże jako triumf, gdy tymczasem problem racjonalnego wyżywienia nie został tam w pełni rozwiązany, mimo, że w strefie wilgotnej znaczne obszary znajdują się pod uprawą pszenicy i mniej kukurydzy, i że zielona rewolucja przyniosła w tych obszarach znaczące rezultaty w wysokości plonów. Pas subtropikalny jest również obszarem uprawy specjalnych roślin, często bardzo cenionych i drogich (bawełna, herbata, owoce cytrusowe, winorośl). Handel nimi jest niejednokrotnie głównym, a czasami jedynym źródłem dochodu leżących tam państw.

Proste wykorzystanie rezerw glebowych strefy wilgotnej południowo-wschodniej Azji, a częściowo i Australii jest ograniczone możliwością nasilenia erozji na tym obszarze, już dziś czyniącej tam szkody. Potężne delty Irawadi i Mekonga świadczą o tym, a Żółta Rzeka (Huang-ho) wyraźnie nazwę swą zawdzięcza zawieszinie ze zerodowanych obszarów. Tym niemniej nadmiar siły roboczej, wieloletnie tradycje upraw na terasach dają szansę powiększenia terenów uprawianych bez uruchomienia intensywniejszych procesów erozyjnych. Zagospodarowanie tej strefy jest tym bardziej godne uwagi ze względu na uzyskiwanie w niej dwóch plonów w ciągu roku.

Pewne rezerwy tkwią i w strefie przejściowej lecz również ogranicznikiem jest możliwość przyspieszenia erozji gleb, jako że znaczna część tych obszarów ma zróżnicowaną górzystą rzeźbę terenu. Dowodem istnienia tego zagrożenia jest częściowo Kalifornia, a przede wszystkim strefa okołoróżdziemnomorska. Te uprawiane od starożytności części Eurazji i Afryki posiadają już znaczne obszary zdewastowane przez erozję. Sięgnięcie po zasoby glebowe w strefie suchej jest możliwe i dokonuje się dość dynamicznie (Tab. 1). Zapasy wody są jednak ograniczone.

**Tabela 1.** Rozwój nawodnień w skali światowej [cyt. za 2]

**Table 1.** Development of irrigation in the world

Rok	Obszar nawadniany (mln ha)
1800	8
1900	48
1949	92
1959	149
1989	200

Ewentualnemu zagospodarowaniu płużnemu strefy suchej przeszkadzać będzie pogłębiający się deficyt wody, czego skutki wspomniane zostały wcześniej na przykładzie Uzbekistanu, a czego ewidentnym dowodem w Afryce jest zanikanie jeziora Czad. Większym problemem niż poszukiwanie przydatnych do uprawy gruntów, nawet przy możliwości nawodnień, jest niedopuszczenie do posze-

zrzenia się strefy suchej. Skutki widoczne są wyraźnie w Afryce. Obejmowanie przez pustynię coraz to nowych terenów w strefie Sahelu jest efektem nadmiernego wypasania pastwisk nota bene podstawowej i racjonalnej tam formy gospodarowania.

Pas tropikalny jak wynika z rys. 2 i 3 jest najobszerniejszym na kuli ziemskiej, i poza strefą suchą na rubieży z subtropikalnymi pustyniami możliwy do znaczniejszego zagospodarowania rolniczego, które aktualnie wynosi ok. 5% ogólnej jego powierzchni. Zasoby glebowe lokują się głównie na czerwonych glebach oraz czarnych ziemiach tropikalnych. Z punktu widzenia ekologii w skali całego globu wyłania się jednak dość istotny problem. Do dziś obszar tropików głównie strefy

wilgotnej zajmują lasy tropikalne, podstawowe zasoby naturalnych obszarów leśnych, wg niekwestionowanych ocen zielone płuca Ziemi.

Niekontrolowana, rabunkowa wycinka tych obszarów o skutkach ekologicznych trudnych do przewidzenia, już poczyna alarmować opiniotwórcze kręgi naukowe. Dobrym przykładem koniecznej ostrożności w zagospodarowaniu rolniczym tego pasa może być Brazylia, gdzie pęd w wycinaniu lasów Amazonii, wcześniej niż w sąsiednich krajach spowodował już widoczne zniszczenia ekologiczne, gospodarcze i społeczne. Naruszenia równowagi ekologicznej objawiły się w dewastacji gleby przez erozję. Wydany ostatnio Atlas Geograficzny zamieszcza zdjęcie satelitarne połączenia się Amazonki z Rio Negro. Ze względu, że szczególnie część południowa dorzecza Amazonki została wylesiona, niesie ona wody przypominające na zdjęciu kawę z mlekiem, od barwy zawiesiny gleb czerwonoziemnych. Wody Rio Negro nadal nie sugerują zmiany jej nazwy. Jest prawdopodobne, że zamiana naturalnej roślinności na pastwiska i grunty orne odbiła się znacznie w miejscowym klimacie, czego skutkiem może być trwająca już drugi rok susza w północno – wschodniej części Brazylii. Spowodowało to znaczne ruchy ludności. Według prasy wyludniło się w tej części kraju ok. 1200 wsi i miasteczek. Setki tysięcy ludzi zasiliło slumsy wielkich miast, po drodze kradnąc i rabując mijane tereny, żyjąc poniżej bytowania zwierząt.

Podsumowując stwierdzamy, że do naszej dyspozycji po ustąpieniu plejstoceńskiego zlodowacenia jest ok. 13 100 mln. ha powierzchni wolnej od pokrywy lodowej (Tab. 2). Użytkowanych rolniczo jest ok. 4.600 ml ha, w tym zagospodarowanych jako grunty orne ok. 1.500 ml ha.

Pojawiające się niedobory żywności i czasami i strefy głodu powodują wkraczanie na obszary dziewicze (Tab. 3). Jest to jednakże wejście ekstensywne co potwierdza brak równoległości wzrostu plonów.

**Table 2.** Obszary łądów i ich użytkowanie – Mha [cyt. za 2]

**Table 2.** Land areas and their use (Mha)

	Łąd	Grunty orne	Pastwiska	Lasy	Nieużytki
Świat	13,079	1,475	3,160	4,082	5,089
Afryka	2,965	184	782	695	918
Ameryka Północna i Centralna	2,139	274	362	660	901
Ameryka Południowa	1,753	139	451	928	422
Azja	2,679	455	641	528	373
Europa	473	140	85	155	18
ZSRR	2.227	232	373	929	875
Oceania	813	49	455	158	260



**Tabela 3.** Przyrost powierzchni upraw i plonów w latach 1964-1985 [cyt. za 2]**Table 3.** World increase in cropland and yields, 1964-1985

Łąd	% zmian powierzchni uprawnej	% zmian plonów	
		zbóż	okopowych
Afryka	13,5	13	22
Azja	4,1	77	58
Północna i Środkowa Ameryka	7,8	44	23
Ameryka Południowa	34,6	42	-1
ZSRR	10,5	76	19
Oceania	1,3	35	13
Świat	23,5	25	13
	8,9	58	21

W związku z kurczącymi się zasobami glebowymi rozwiązaniem pozostaje postęp techniczny oparty na racjonalnych naukowych podstawach. Za osiągnięciami nauki musi jednakże iść w parze rozwój oświaty rolniczej. Tym bardziej, że jednemu z członów postępu, postępowi w genetyce i hodowli roślin, musi towarzyszyć coraz umiejętniejsza organizacja środowiska potencjalnie przydatnego do zagospodarowania rolniczego lub już tak użytkowanego.

O możliwościach osiągnięcia znacznych efektów, przy wykorzystaniu postępu w badaniach naukowych, technice, jak i w podnoszeniu poziomu kwalifikacji rolnika – przedstawia tabela 4.

**Tabela 4.** Liczba ludności żywiona przez 1 farmera w USA [cyt. za 2]**Table 4.** Number of people nourished by 1 farmer in the USA

Rok	Globalnie	W USA	Poza USA
1920	4,1	3,8	0,3
1900	6,9	5,2	1,7
1920	8,3	6,9	1,4
1940	10,7	10,3	0,4
1950	15,5	13,8	1,7
1960	25,8	22,3	3,5
1970	47,1	39,9	7,2
1977	59,8	42,8	17,0
1989	65,0	46,0	19,0

## 4. GŁÓWNE ZAGROŻENIA GLEB

### 4.1. Denudacja

Denudacja – słowo pochodzenia łacińskiego “denudo” (odkrywam, odsłaniam) jest procesem geologicznym dążącym do zrównania powierzchni Ziemi do teoretycznego średniego poziomu.

*Płyty tektoniczne razem z energią słoneczną, wyrażoną w klimacie, powodują (utrzymują) krążenie masy. Kontynenty są wypiętrzane, ma miejsce denudacja, materiał jest usuwany do krawędzi oceanu i zwrócony kontynentom.*

*Ta denudacja jest też nazywana erozją geologiczną. Jest ona korzystna w tym, że odnawia powierzchnię lądu, usuwa stary zwietrzały materiał, który jest wyczerpany ze składników pokarmowych i przynosi świeże skały w zasięg wietrzenia do uwolnienia nowych składników pokarmowych. Idealnie, denudacja i wietrzenie zachodzą w równym tempie a gleba jest w stanie stabilności i optymalnych warunkach do wspierania wegetacji klimaksu, które należą do występującego lokalnie klimatu.*

*Wielkość denudacji jest skorelowana z wielkością lądu: im większa tym denudacja mniejsza. Jest to spowodowane przez sedymentację w dolinach rzek i jezior, a także przez strącanie rozpuszczalnych soli w np. słonych jeziorach. W badaniach erozji używany jest termin SDR – wskaźnik dostarczenia sedymentów: stosunek ilości sedymentu, który eroduje na obszarze i opuszcza ten obszar. Wyższe zbocza pod uprawę rolniczą mogą być narażone na erozję 100 t/ha/rok. Część jest zdeponowana na niższych stokach a część na dnie rzeki. Im dalej w dół rzeki może się pojawić więcej pułapek (naturalne lub sztuczne jeziora, tereny zalewowe itp.). Stąd tylko część sedymentów osiąga morze i SDR spada po drodze. Przypuśćmy, że 50% osadu (50 t/ha/rok) opuszcza małą zlewnię, w której zlokalizowane są erodowane pola. Stąd  $SDR = 0,5$ . Idąc dalej w dół rzeki może pojawić się jezioro, gdzie cały osad jest osadzony. Stąd SDR dla tej większej zlewni osiąga zero i tylko rozpuszczalny materiał jest eksportowany do morza. Dla dużych obszarów stopień denudacji jest często rzędu milimetrów na 100 lat.*

*Żeby zdecydować czy określona szybkość erozji jest nadmierna, powinniśmy znać lokalne tempo wyniesienia (wypiętrzania) i lokalne tempo wietrzenia. Te dane są trudne do określenia, tempo wypiętrzania waha się bardzo mocno między kontynentami i w obrębie kontynentów a tempo wietrzenia jest również uzależnione od wielu czynników, które będą dyskutowane dalej. Żeby dać rozeznanie o rzędzie wielkości, wielkość denudacji podana jest w Tabeli 5.*

**Tabela 5.** Przeciętna wielkość denudacji kontynentów [39]  
**Table 5.** Average denudation rates of continents

Kontynent	Denudacja
Europa	2,3
Azja	1,3
Ameryka Północna	1,3
Ameryka Południowa	1,2
Afryka	0,9
Australia	0,1
Całkowita masa lądu	1

*Wśród kontynentów Europa ma najwyższy stopień denudacji, a Australia najniższy. To może być wytłumaczone przez wilgotny klimat w Europie w porównaniu do Australii, występowaniem terenów młodych gór, stosunkowo długą linię brzegową, krótkimi średnimi odległościami do morza i brakiem suchych, wewnątrzlądowych terenów bez*

*zmywów. Niewątpliwie również intensywna działalność ludzka w Europie ma swój udział w wysokiej denudacji.*

*Studia nad wietrzeniem i geochemicznym bilansem w Południowych Apalachach w USA pokazują, że czoło wietrzenia penetruje do świeżych skał w tempie 3,8 mm/100 lat i dobrze koresponduje z długoterminowym średnim tempem denudacji 4 mm/100 lat. To czoło występuje na średniej głębokości 6 m a skala składa się z łupków i gnejsów. Sytuacja w Apalachach, będących starymi, erodowanymi, niskimi obszarami górskimi, różni się bardzo od młodych gór.*

*Zlewnia Amazonki jako całość ma średnią denudację 1,8 mm/100 lat, nieco większą niż całość Ameryk a nieco niższą niż Europa. Ta denudacja jest daleka od jednolitej, ponieważ teren ten obejmuje wysokie zakresy w górach Andach z wysokim stopniem denudacji, stabilne leśne tereny i stare płaskowyże z bardzo małym tempem denudacji i ogromne tereny aluwialne, szczególnie wzdłuż rzeki Amazonki z negatywną denudacją (osadzaniem).*

*Średnie tempa wypiętrzania dla całych kontynentów są z grubsza tego samego rzędu co tempo denudacji, dla małych obszarów mogą się różnić bardzo znacznie. Dla Himalajów szacuje się średnie tempo denudacji na 0,5-2,5 mm/rok przy średnim wypiętrzaniu od 5-10 mm/rok. Znaczy to, że mimo obecnej antropogenicznej erozji góry te ciągle zwiększają wysokość.*

*Tempo denudacji jest określone przez wiele czynników: tempo wypiętrzania, wysokość n.p.m., opady, typ skały i użytkowanie terenu [39].*

## 4.2. Erozja gleb

Erozja gleb jest wydzieleniem sztucznym w całokształcie procesów denudacyjnych. Wyodrębniono ją, z procesów penepłenizacyjnych by podkreślić groźbę degradacji gleb będących podstawowym elementem środowiska w procesie

ciągłego odtwarzania biomasy na Ziemi. Chciano również zwrócić uwagę, że proces ten, powolny w środowisku naturalnym, zostaje przyspieszony przez zagospodarowanie rolnicze terenów urzeźbionych i narasta gwałtownie przy nie liczącej się ze specyfiką terenu działalnością rolniczą.

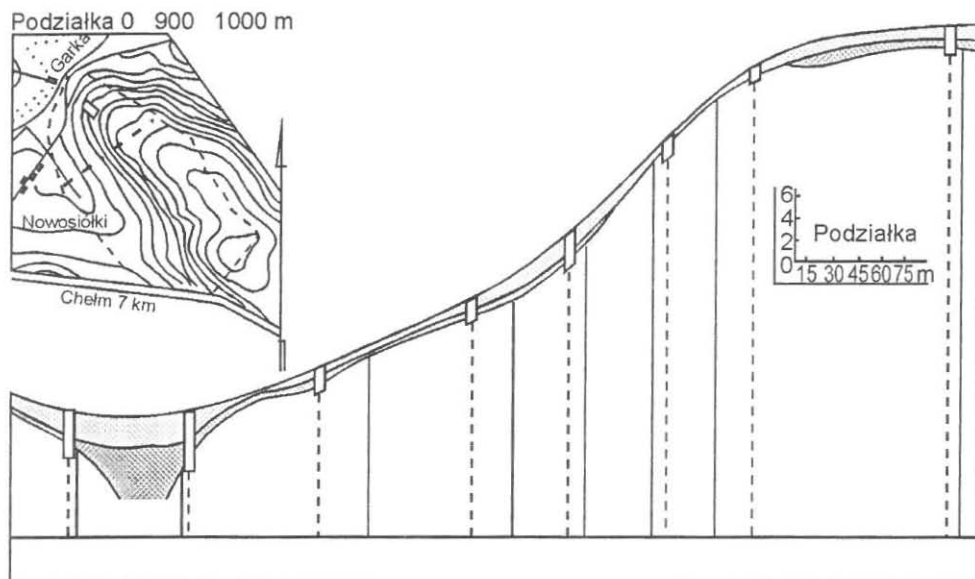
Procesy erozyjne można usystematyzować na podstawie czynnika decydującego o tym zjawisku oraz charakterystycznych objawów dla określonego typu erozji. Głównymi czynnikami wywołującymi erozję są woda oraz ruchy powietrza. Erozja wodna występuje w strefach klimatów wilgotnych, ale pojawić się może i w klimacie suchym, przy nawet sporadycznych deszczach nawalnych. Istotnym warunkiem pojawienia się zmywu i rozmywu gleb jest spływ powierzchniowy, gdy gleba nie nadąży filtrować spadłej nań wody. O niszczeniu pokrywy glebowej decyduje erozja pluwialna (deszczowa) mimo efektownych czasami objawów erozji rzecznej czy abrazji. Wyróżnia się następujące rodzaje erozji pluwialnej:

- powierzchniowa,
- liniowa, a w niej żłobinowa,
- wąwozowa,
- podziemna (suffozja).

Erozją powierzchniową gleb nazywamy całokształt procesów i towarzyszących im zjawisk przemieszczenia masy glebowej (zmywy i namywy), które nie objawiają się szczególnie wyraźnie w krajobrazie. Jej działanie można stwierdzić analizując gleby w różnych elementach reliefu mimo braku wizualnych efektów, ten skryty bicz rolnictwa według Żółcińskiego potrafi w drastyczny sposób różnicować zdawałoby się jednolitą genetycznie pokrywę glebową i niejednokrotnie podstawowe jej właściwości (rys. 4).

Z erozją liniową mamy do czynienia w momencie pojawienia się na powierzchni pola żłobin. Żłobiną nazywamy powstałe na powierzchni ziemi mikroformy w miejscach spływu czasowych strug wody. Jeżeli nie można zlikwidować żłobin przez normalną uprawę (orkę) bez dodatkowych zabiegów wyrównujących, proces pogłębia się i wówczas mamy do czynienia z erozją wąwozową.

Erozja podziemna gleb jest stosunkowo najmniej rozprzestrzeniona. Ma ona miejsce na obszarach lessowych zalegania skał wapiennych i objawia się w postaci wymoków oraz kotłów erozyjnych (suffozyjnych). Wymokami nazywamy zagłębienia powstałe w wyniku wymywania węgla wapnia ze złóż lessu, co jest specyficzną formą krasu lessowego. Kotły suffozyjne są pionowymi zagłębieniami powstającymi wskutek wnikania wody w głąb złoża lessowego. Towarzyszą im z reguły podziemne korytarze, którymi woda przepływa, torując sobie drogę



Rys. 4. Wpływ erozji wodnej na zmianę budowy profilu rędziny [57]

Fig. 4. Influence of water erosion on the structure of rendzina profile

wybicia na powierzchni, najczęściej w miejscach świeżych rozcięć erozyjnych, np. w czołach wąwozów.

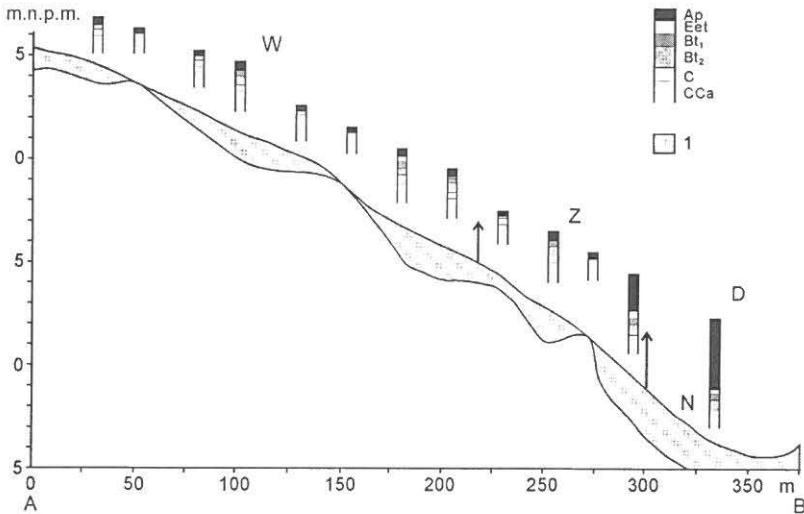
Pojawieniu się oraz nasileniu procesów erozji gleb sprzyjają:

- ukształtowanie (rzeźba) terenu,
- budowa geologiczna terenu,
- pokrywa glebowa,
- pokrycie terenu,
- ilość spadłej na powierzchnię gleby wody, szczególnie wielkość części niezretencjonowanej,
- całokształt urządzeń oraz system gospodarki rolnej na terenach uprawianych.

#### 4.2.1. Ukształtowanie (rzeźba) terenu

Przemieszczenie tworzywa glebowego przy udziale wody może mieć miejsce jedynie podczas jej ruchu, stąd procesy zmywu pojawiają się na obszarach morfologicznie zróżnicowanych i to niekoniecznie w makroskali. Brak lub niewielkie natężenie procesów erozyjnych może mieć miejsce nawet na terenach potencjalnie erozjogennych (np. wyżyny, rzadziej obszary górskie), jeśli mezo- czy mikrorelief

nie sprzyja procesom zmywania. Zjawiska takie można spotkać np. na Wyżynie Lubelskiej, terenie generalnie uznawanym za erozyjny, gdzie stara, przedczwartorzędowa rzeźba o długich łagodnych zboczach decyduje o współczesnej powierzchni topograficznej i nie sprzyja rozwojowi procesów erozyjnych (rys. 5). Zalegająca nieopodal pokrywa lessowa kamuflując tę łagodną przedczwartorzędową powierzchnię nadaje rzeźbie zupełnie inny charakter morfologiczny, falisty lub pagórkowaty, co sprzyja pojawieniu się pełnej gamy zjawisk erozyjnych. Zjawiska erozyjne mogą wystąpić na obszarze Niżu Polskiego w rejonach wysoczyzn morenowych falistych lub pagórkowatych stref marginalnych na obszarach akumulacji lodowcowej. Niezależnie od ogólnej sytuacji morfologicznej w określonej jednostce fizjograficznej, zjawiska erozyjne mogą pojawić się w strefach krawędzi i to niezależnie od ich genezy. Dominacja określonych form zjawisk erozyjnych na zboczach zależy od ich długości i kształtu oraz ekspozycji południowej. Szczególnie w czasie roztopów wiosennych obserwuje się na nich gwałtowniejsze spływy ze względu na szybsze topnienie pokrywy śniegu bezpośrednio poddanej operacji słonecznej.



**Rys. 5.** Zróżnicowanie gleb na przekroju niwelacyjno – glebowym A-B w terenie erodowanych brunatnoziemnych gleb lessowych [56].

1 – poziom lessu objęty aktualnie procesem glebotwórczym. W – wierzchowina, Z – zbocze, D – dolina. Strzałki oznaczają granice wymienionych elementów reliefu.

**Fig. 5.** Differentiation of soils on the soil cross – section AB of characterizing eroded brown soils formed from loess.

1. Level of loess under present soil forming processes. W – upland, Z – slope, D – valley. Arrows show boundaries between relief elements (W, Z, D).

#### 4.2.2. Budowa geologiczna terenu

Rozwój i nasilenie procesów erozyjnych gleb zależy przede wszystkim od formy skał macierzystych. Najbardziej podatne są formy luźne skał osadowych, a cecha ta maleje w miarę stopnia diagenety. Wśród form luźnych podatność zwiększa się wraz ze zmniejszeniem średnicy ziarn, ale największa jest w materiale pyłowym, szczególnie o charakterze pyłu drobnego. O takim uszeregowaniu decyduje nie tylko trudniejsze przemieszczenie ziarn grubych, ale i większa porowatość takiego materiału, co stwarza możliwość pełnej retencji wody, nawet przy gwałtowniejszych opadach. Największa teoretycznie podatność materiału ilastego jest zmniejszona dzięki znacznej zawartości koloidów, tworzących strukturę agregatową materiału glebowego, spowalniającą zmywy. Ta prawidłowość jest niezależna od genezy skał. Również odporność na wietrzenie jest niezależna od genezy skał i chociaż z reguły skały magmowe i część przeobrażonych słabiej poddają się zniszczeniu, to niektóre piaskowce o spoiwie krzemionkowym i kwarcyty wcale im nie ustępują. Ta cecha skał decyduje o głębokości profilu gleby, co ma istotne znaczenie, jeśli nawet nie dla szybkości zmywu, to jego skutków. Gleby wytworzone ze skał wapiennych trudno wietrzejących (płytkie rędziny) nie tylko mogą być dość szybko w pełni zniszczone, ale także nie mają perspektywy szybkiej regeneracji profilu. Erozja na takich obszarach jest znacznie groźniejsza niż na terenach innych, szczególnie na terenach górzystych zarówno tektonika, jak i głównie stratygrafia skał sprzyjająca ruchom mas skalnych (choć nie należą one do procesów erozyjnych) mogą powodować zniekształcenie i niszczenie pokrywy glebowej.

#### 4.2.3. Pokrywa glebowa

Jak wspomniano wcześniej podatność na erozję jest uzależniona przede wszystkim od składu granulometrycznego i to tłumaczy wyjątkową erozyjność gleb lessowych. Cecha ta może być wzmocniona lub osłabiona przez cały szereg dodatkowych właściwości gleb szczególnie tych, które albo wpływają na zmiany tarcia wewnętrznego materiału glebowego albo mechanicznie utrudniają przesunięcie tworzywa glebowego, np. wspomniany materiał lessowy o wiele szybciej podlega przemieszczeniu jeżeli pierwotna struktura złoża zostaje naruszona. Płynięcie lessu ma miejsce w takim przypadku nawet przy stosunkowo niewielkim nasyceniu wodą.

Zależność podatności na zmyw jest związana nie tylko z wielkością elementarnych cząstek gleby ale i stopnia ich zagregatowania. Stąd nawet materiał

drobny, ale zagregatowany zmniejsza ryzyko zmywów. Szczególnie dotyczy to agregatów wodoodpornych, stąd duże znaczenie wszystkich składników glebowych wpływających na ten stan. Obok koloidów stanowiących lepiszcze agregatów, znaczny dodatni wpływ na odporność na zmyw ma zawartość jonów zasadowych, przede wszystkim Ca i Mg, powodujących hydrofobowość koloidów glebowych, w większości hydrofilnych. W naszych warunkach środowiskowych decydująca rola przypada związkom próchnicznym, głównie zasobnym w kwasy huminowe, w obecności wspomnianych wyżej kationów. W warunkach polskich i całej strefy klimatu umiarkowanego humidowego większą rolę odgrywają całkowite zasoby próchnicy, związane głównie z głębokością poziomów akumulacyjnych niż z reguły niska zawartość próchnicy. To sprawia, że np. tereny lessowe z pokrywą gleb czarnoziemnych są potencjalnie i efektywnie słabiej erodowane niż obszary nalessowych gleb brunatnych i płowych.

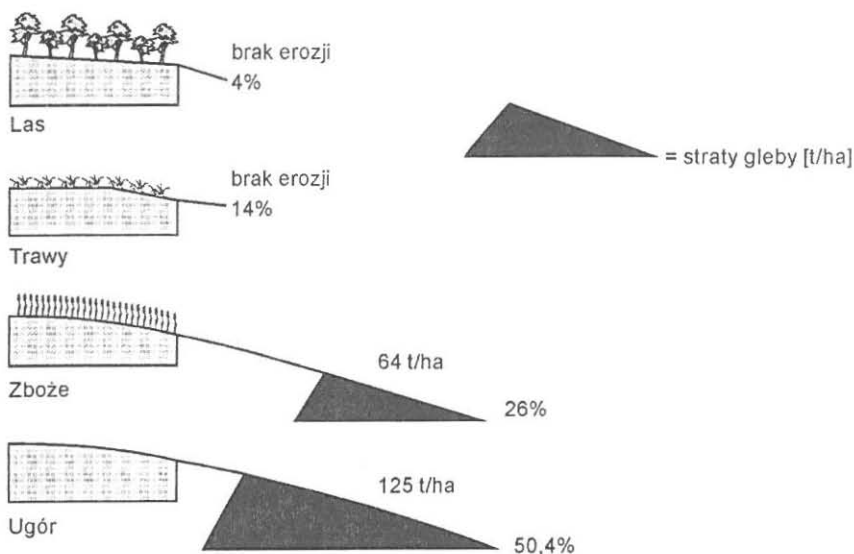
#### 4.2.4. Pokrycie terenu

Nasilenie procesów erozyjnych jest zmienne w zależności od pokrycia aktualnej powierzchni topograficznej, bowiem erozja jako zjawisko geologiczne jest wszechobecna, aż do stanu osiągalnego, jedynie teoretycznie, wyrównania. Jest oczywiste, że brak osłony zwietrzelin i tworzących się na nich gleb powoduje najgwałtowniejszy przebieg procesów i najbardziej efektywne zjawiska erozyjne. Szczególnie jaskrawym tego dowodem są obszary Wyżyny Lessowej w Chinach, skąpo pokrytej roślinnością i intensywnie niszczonej przez erozję, przy stosunkowo niewielkich opadach. Im bujniejsze są zespoły roślinne, tym ich rola ochronna jest większa. Taką rolę w naszej strefie klimatycznej spełniają zespoły lasów i borów, które w praktyce ograniczają do minimum procesy erozyjne (rys. 6).

Eliminacja naturalnych zespołów roślinnych rozpoczęta w neolicie, jak wspomniano, nie przyczyniła się do istotnego nasilenia procesów erozyjnych. Przyrost ludności i konieczność jej wyżywienia zmuszał do podejmowania pod uprawę płużną coraz to nowych obszarów. Wskutek ekstensywnej gospodarki była to konieczność, ale w konsekwencji doprowadziła do likwidacji naturalnej pokrywy roślinnej aż do granic ekstremalnych i do przekroczenia biologicznie dopuszczalnej granicy rolno-leśnej, co nie tylko wzmogło zmywy na terenach urzeźbionych, ale spowodowało ogólnoprzyrodnicze, katastrofalne skutki.

Niezależnie od systemów gospodarki rolnej (ekologiczny, ekstensywny, zrównoważony, intensywny) w każdej strefie klimatycznej występują specyficzne dla niej rośliny. W strefie klimatu umiarkowanego, humidowego są to rośliny zbożowe (żyto, pszenica, owies, jęczmień), okopowe (ziemniaki i buraki) oraz





**Rys. 6.** Gleba erodowana (t/ha) i straty wód opadowych [2]  
**Fig. 6.** Eroded soil (t/ha) and precipitation water loss

pastewne (koniczyna, saradela, wyka, łubin, lucerna). Ich wartość ochronna gleb przed erozją jest zróżnicowana. Maleje ona od wieloletnich roślin motylkowych przez zboża do roślin okopowych. Nawet w obrębie wymienionych grup zaznaczają się znaczne różnice krzewiące się jesienią żyto ma większą wartość ochronną niż ozima pszenica. Szczególnie słabo zabezpieczają glebę rośliny okopowe, a ze zbóż kukurydza. Szerokorzędowa uprawa i znaczna rozstawa roślin w rzędzie powodują, że powierzchnia pola jest odkryta przez długi okres, stąd deszcze nawalne wiosną i wczesnym latem mogą powodować znaczne szkody. Dodatkowo, pole przygotowane pod te uprawy pozostaje w pełni odkryte po uprawie jesiennej, zwiększając ryzyko zmywu przez sflwy roztopowe.

#### 4.2.5. Retencja wody

Podstawowym warunkiem erozji wodnej gleb jest sflw powierzchniowy, który pojawia się przy braku pełnej retencji. Ma to miejsce gdy opadła na powierzchnię gleby woda nie zdoła wsiąknąć i zostać przefiltrowana w głąb profilu glebowego. Pierwszy przypadek zachodzi, jeśli gleba w czasie opadu, lub w naszej strefie klimatycznej roztopów wiosennych, ma zbyt mało porów aeracyjnych lub ilość tych porów ulega zmniejszeniu w trakcie opadu. Mniej więc narażone na erozję są gleby o lżejszym składzie granulometrycznym lub niezależnie od niego, charakteryzujące się wodoodporną strukturą agregatową.

#### 4.2.6. *Całokształt urzędzeń oraz system gospodarki rolnej na terenach uprawianych*

Nasilenie erozji nie zawsze związane było z uprawą płużną. Jak wspomniano, nie lepsze efekty może przynieść gospodarka hodowlana.

O wiele bardziej intensywne procesy erozyjne obserwuje się jednak na gruntach ornych. Zdecydowały o tym głównie stosunki własnościowe, szczególnie gdy od gospodarki wypaleniskowo kopieniackiej rolnictwo przeszło do uprawy płużnej. Ustabilizowało to urzędzenia rolne, wśród których ważne miejsce zajmuje rozłóg użytków i usytuowanie dróg dojazdowych. W gospodarce drobnotowarowej układ pól i ich granic był dostosowany do morfologii terenu urzędzonego, ale z reguły nie miał charakteru antyerozyjnego. Pola rozciągały się wzdłuż kierunku spadku wzniesień i ten układ w większości zachował się do dziś. Zdecydowała o nim większa łatwość uprawy prowadzonej zgodnie ze spadkiem oraz swoicie pojęta sprawiedliwość, równo obdzielająca właścicieli kawałkami wierzchowin, zboczy i podnóży (dolin). Niechęć do odstąpienia od tego układu objawiła się podczas prac komasacyjnych (scaleniowych) na Wyżynie Lubelskiej jeszcze w latach sześćdziesiątych.

Wspomniany układ pól przyspieszał procesy erozyjne przez:

- uprawę pola wzdłuż zbocza, powodującą powstawanie bruzd i układu skib zgodnym ze spadkiem. Sprzyjało to gwałtownym zmywom. Ujawniło się poza tym zjawisko erozji mechanicznej, polegającej na spychaniu przez narzędzia uprawowe masy gleby do podnóży, szczególnie przy orce w dół;
- wymuszony rozmieszczeniem pól system dróg dojazdowych nie uwzględniający rzeźby terenu, stawały się one wówczas ośrodkami znacznej koncentracji spływających wód i w konsekwencji drogi gruntowe i ich otoczenie, ulegały poważnej dewastacji erozyjnej.

Jedynie na obszarach szczególnie urzędzonych (góry, pogórza), gdzie błędy w urzędzeniach rolnych szybko powodowały widoczne negatywne skutki, spontanicznie kształtowano pola w system przeciwoerozyjny.

Powstające gospodarstwa wielkoobszarowe nie tylko nie zabezpieczały przed erozją, ale niejednokrotnie potęgowały ją, głównie przez wprowadzenie na znacznych obszarach monokultur. Jaskrawym przykładem jest tzw. bad land w Kanadzie i USA oraz zniszczone obszary rozoranych stepów Kazachstanu czy Przedkaukazia. Te ostatnie szczególnie ucierpiały od erozji eolicznej w aridowym klimacie, gdy zniszczono na korzyść monokultury pszenicy naturalną roślinność chroniącą gleby przed deflacją.

Dodatkowym czynnikiem wzmagającym procesy erozyjne w gospodarstwach wielkoobszarowych są zmiany w strukturze gleb wywołane używaniem ciężkiego sprzętu rolniczego i trakcji mechanicznej. Jak wykazały wieloletnie badania przeprowadzone przez ośrodek szczeciński użycie takiego sprzętu i ugniecenie gleb powodowało pojawienie się zmywów nawet na glebach z natury odpornych, o składzie granulometrycznym piasku. Nasiliła się tam również erozja mechaniczna i pojawiły oznaki wietrznej.

Jak wynika z omówienia warunków sprzyjających erozji gleb, obszarami potencjalnie erodowanymi są w Polsce (rys. 7): tereny górzyste (2), pas wyżyn i przedgórz (3), część Pojezierza Południowo- i Wschodniobałtyckiego (1).

Na terenach górzystych dominującym czynnikiem jest ukształtowanie powierzchni i ilość opadów znacznie przekraczająca średnią krajową. Procesy te ulegają nasileniu ze względu na znaczne wylesienie gór, tak wskutek nadmiernych wyrębów w przeszłości (Karpaty), jak współczesnych zakłóceń ekologicznych (głównie w Sudetach). Jest to przyczyną występowania katastrofalnych spływów. Nasila się erozja rzeczna, której nie jest w stanie zapobiec nawet zabudowa techniczna. Ponieważ rzeki górskie nie osiągnęły profilu równowagi podłużnej nasilają się zjawiska zmywu w zlewniach, szczególnie na terenach występowania gleb wytworzonych z fliszu z przeważającym udziałem błotców. Ze względu



Rys. 7. Zagrożenie erozją gleb w Polsce [cyt. za 57]

1 – erozja średnia; 2 – erozja silna (tereny górzyste); 3 – erozja silna, tereny lessowe

Fig. 7. Map of soil erosion in Poland

1 – medium erosion; 2 – strong erosion in mountain regions, 3 – strong erosion in loess regions

na płytkość profilów glebowych i trudność w wietrzeniu niektórych serii fliszu brak ochrony może doprowadzić do pełnej mechanicznej degradacji ukształtowanych historycznie profilów glebowych i wtórnego wytworzenia się gleb inicjalnych i słabo wykształconych, mniej wartościowych i o niższej przydatności rolniczej. Nasilony transport rumoszu wietrzeniowego i materiału glebowego ze zlewni zagraża zbiornikom retencyjnym, co szczególnie jaskrawo widać na przykładzie Rożnowa.

Na wyżynach zagrożone są tereny pokryte lessem i glebami z niego wytworzonymi należącymi do typu, gleb pływych. Erozji na tym terenie sprzyja ogromne wylesienie spowodowane maksymalnym objęciem przez gospodarkę plującą tych dobrych gleb. Na obszarach lessowych spotykamy wszystkie typy erozji gleb – od powierzchniowej po wąwozową. Na wyżynach ulegają erozji również gleby wapniowcowe (rędziny), chociaż są one odporniejsze od gleb wytworzonych z lessu. Sprzyja temu cięższy skład granulometryczny oraz znaczne zasoby próchnicy. Zniszczenia erozyjne są jednak na nich tym groźniejsze, im płytszy jest profil rędziny. Przy braku ochrony przeciwerozycyjnej może ulec on pełnej dewastacji, a skały wapniowcowe, z wyjątkiem miękkich margli i kredy, trudno wietrzeją, co stwarza poważne problemy przy regradacji. Na terenach morenowych erozja mniej różnicuje przestrzennie pokrywę glebową, której mozaikowość, ze względu na zwałowy charakter skał, i tak jest już znaczna. Przyczynia się to do mechanicznego zniszczenia profilów glebowych i ogólnych strat składników chemicznych przez ich przemieszczenie czy wręcz wyniesienie ze zlewni.

Erozję traktuje się jako proces degradacyjny i ocenia negatywnie, zalecając bezwzględna walkę. Tymczasem erozja jest procesem geologicznym i jako taka jest nie do powstrzymania, dopóki w skorupie ziemskiej zachodzą procesy endogeniczne, wynoszące fragmenty skorupy ziemskiej ponad teoretyczny średni poziom Ziemi. Jako obiektywne zjawisko przyrodnicze erozja nie może być jednoznacznie określona negatywnie. Z problemem tym autorzy zetknęli się przy analizie wartości i przydatności gleb Karpat, a szczególnie Pogórza. Na terenie tym naturalny proces glebotwórczy spowodował na stosunkowo miękkich pyłowych utworach wytworzenie się dość miększych profilów ale o wyjątkowo niekorzystnym, kwaśnym odczynie i doprowadził przez wymycie w głąb profilu potrzebnych dla roślin składników mineralnych do drastycznego zubożenia warstw i poziomów wierzchnich. W takim przypadku, przy ekstensywnej gospodarce łagodny i kontrolowany zmyw poprawiał niektóre właściwości chemiczne i fizykochemiczne gleb.

W pełni negatywnym zjawiskiem erozja staje się wówczas, gdy człowiek brutalnie wtargnie w środowisko przyrodnicze i to co przyroda wytworzyła w ciągu naturalnej ewolucji i co jest specyficzne dla określonych warunków

środowiska zostanie gwałtownie zniekształcone i zlikwidowane (Tabela 6). W pierwszej kolejności dotyczy to rzeźby terenu i budowy gleb. Za podstawę wymienionych zniekształceń przyjmuje się długość powstałych wąwozów w kilometrach biejących na 1 km<sup>2</sup>. Wyróżnia się 4 stopnie zniekształcenia gleby i rzeźby terenu:

- słabe 0,1-0,5 km wąwozów erozyjnych/km<sup>2</sup>,
- średnie 0,5-1,0 km wąwozów erozyjnych/km<sup>2</sup>,
- duże 1,0-2,0 km wąwozów erozyjnych/km<sup>2</sup>,
- bardzo duże 2,0 km wąwozów erozyjnych/km<sup>2</sup>.

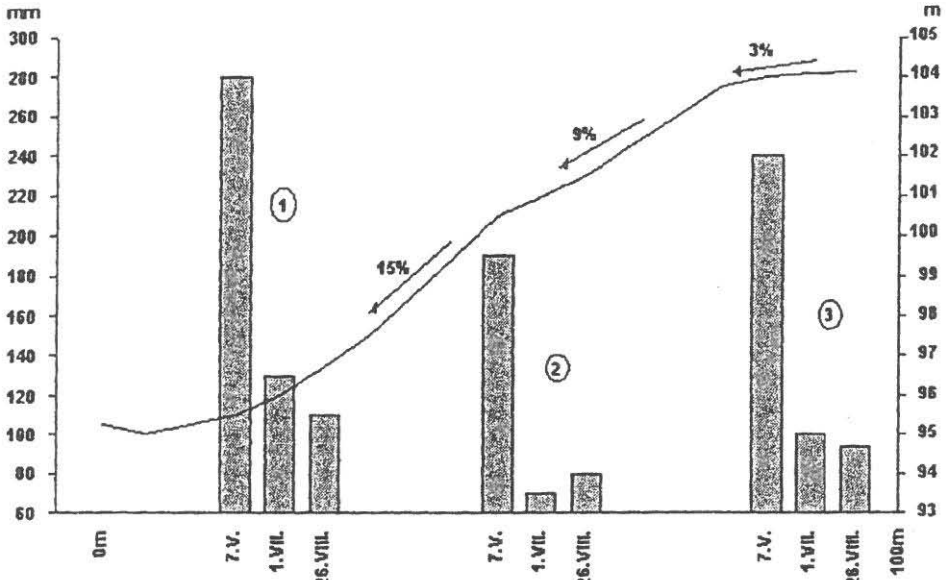
**Tabela 6.** Degradacja gleb wskutek erozji wąwozowej [8]

**Table 6.** Soil degradation by the gully erosion

Próchnica (Mg/ha)	Stopień degradacji gleb przy łącznej długości wąwozów (km/km <sup>2</sup> )			
	< 0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	>2,0
50-40	słabo zdegradowane	średnio zdegradowane	zdegradowane	silnie zdegradowane
40-30	średnio zdegradowane	zdegradowane	silnie zdegradowane	grunt bezglebowy
30-20	zdegradowane	silnie zdegradowane	grunt bezglebowy	grunt bezglebowy
20-10	silnie zdegradowane	grunt bezglebowy	grunt bezglebowy	grunt bezglebowy
do 10	grunt bezglebowy	grunt bezglebowy	grunt bezglebowy	grunt bezglebowy

Zanim ujawnią się dostrzegalne formy erozji rozpoczyna się zmiana wilgotności gleby (rys. 8) i składu chemicznego gleby przez wymycie łatwo rozpuszczalnych składników w tym pokarmowych, najbardziej interesujących rolnika. Jak wykazały badania w ośrodku olsztyńskim, na obszarach morenowych odpornych na procesy zmywne, odpływające wody z niezabezpieczonych pól są silniej zmineralizowane niż spod pokryw roślinności naturalnej. Nawet jeśli nie dochodzi do bezpowrotnych strat, następuje zróżnicowanie zasobności gleby w różnych elementach reliefu (rys. 9). Wprawdzie można zastosować zróżnicowane nawożenie, komplikuje to jednak organizację pracy i podwyższa koszt zabiegów agrotechnicznych.

W tym stadium może dochodzić do znacznych przemieszczeń związków próchnicznych, ze względu na ich mniejszą gęstość w stosunku do mineralnego tworzywa gleby. Większe zmywy powodują naruszenie jedności pokryw glebowej erodowanego terenu. Szczególnie wyraźnie obserwować można to



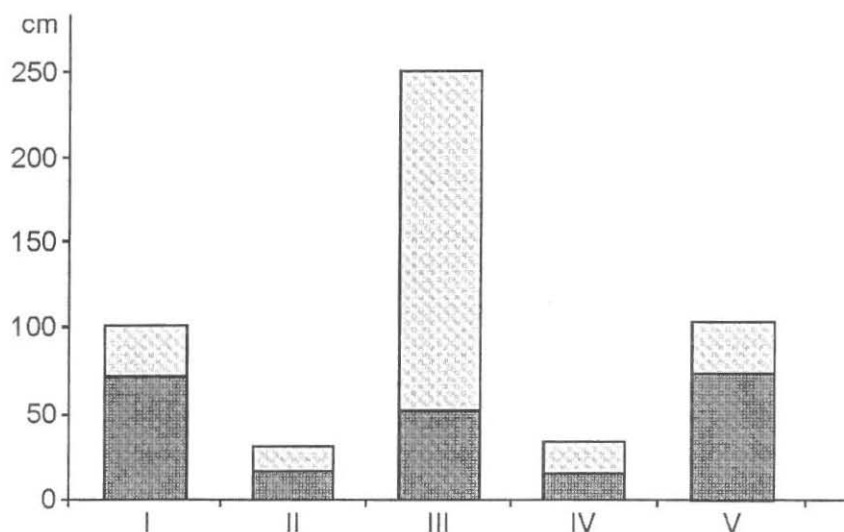
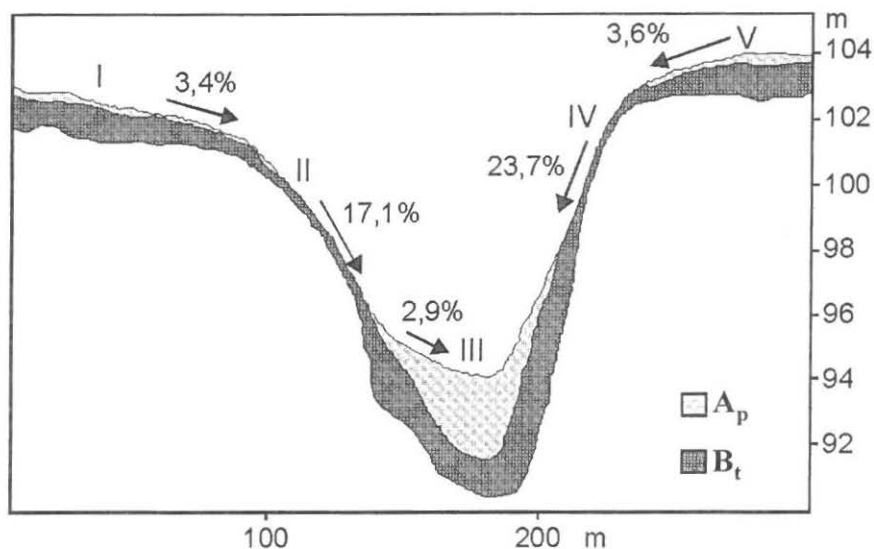
Rys. 8. Przykład zróżnicowania wilgotności gleby erodowanego terenu lessowego [cyt. za 4]:

1 – obszar gleb deluwialnych (dolina); 2 – obszar gleb erodowanych (zbocze); 3 – obszar gleb nieerodowanych (wierzchowina)

Fig. 8. Example of moisture differentiation in eroded loess area:

1 – deluvial area (valley); 2 – eroded soils (slope); 3 – non eroded upland

na obszarach lessowych (rys. 10), gdzie aktualna powierzchnia pola uprawnego przedstawia skomplikowaną mozaikę gleb i ich właściwości. Jedynie względnie wyrównana jest strefa deluwii, co nie świadczy jednak, że są one jednorodne, gdyż mogą pochodzić z materiału różnych poziomów genetycznych pierwotnych gleb, w różnym stadium zmycia. Tym samym i warunki wzrostu roślin są niezwykle zróżnicowane i praktycznie w strefie wierzchowin i zboczy trudno jest wyodrębnić jednolitą strefę agroekologiczną. Spośród właściwości najistotniejsze znaczenie dla produkcji ma zróżnicowanie cech fizycznych odpowiedzialnych za gospodarkę wodno-powietrzną gleby. Jeżeli uwzględnimy zróżnicowaną ekspozycję zboczy oczywiste jest, że uzyskanie jakościowo jednolitego plonu jest utrudnione, chociaż zbocza w niektórych przypadkach mogą dać wyższe plony niż nieerodowane wierzchowiny. Na obszarach wytworzonych ze skał litych (patrz gleby litogeniczne), najgroźniejsze jest to, że po etapie zróżnicowania pokrywy glebowej i jej właściwości, dochodzi do całkowitej likwidacji profilów glebowych i odsłonięcia litej skały.

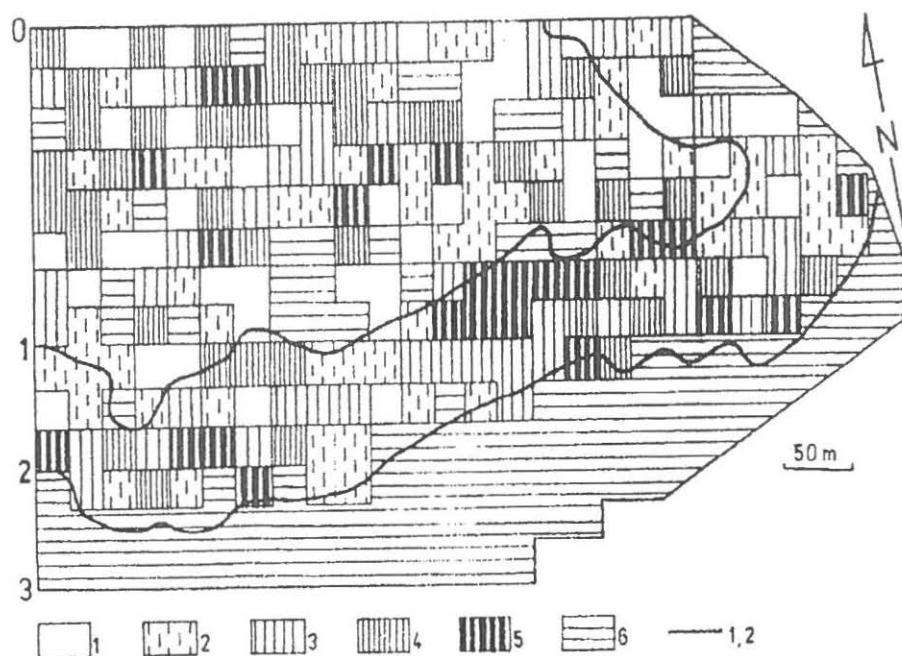


**Rys. 9.** Przekrój niwelacyjno – glebowy erodowanego terenu lessowego [4]:

I, II, IV, V – gleba erodowana, III – gleba deluwialna, zawartość: C – próchnicy, P – przyswajalnego fosforu, K – przyswajalnego potasu, I – C = 1,67; P = 16,3; K = 16,2; II – C = 1,40; P = 12,4; K = 10,0; III – C = 1,58; P = 5,9; K = 5,4; IV – C = 0,90; P = 6,6; K = 10,0; V – C = 1,41; P = 1,9; K = 11,2%

**Fig. 9.** Soil cross – section of eroded loess area:

I, II, IV, V – eroded soil, III – deluvial soil, C – humus, P – soluble phosphorus, K – soluble potassium, I – C = 1.67; P = 16.3; K = 16.2; II – C = 1.40; P = 12.4; K = 10.0; III – C = 1.58; P = 5.9; K = 5.4; IV – C = 0.90; P = 6.6; K = 10.0; V – C = 1.41; P = 1.9; K = 11.2%



Rys. 10. Zróznicowanie gleb w różnych elementach reliefu na obszarze brunatnoziemnych gleb lessowych [56].

1 – gleby płowe i brunatne niezmywane; 2 – gleby brunatne słabo zmywane; 3 – średnio zmywane; 4 – silnie zmywane; 5 – bardzo silnie zmywane (pararendziny lessowe); 6 – gleby deluwialne

Fig. 10. Differentiation of soils in different relief elements in the area of brown loess soils.

1 – brown and brown podzolic non eroded soils; 2 – slightly eroded soils; 3 – medium eroded soils; 4 – strongly eroded soils; 5 – very strongly eroded soils (loess pararendzinas); 6 – deluvial soils

Analizując skutki niekontrolowanych zjawisk erozyjnych nie można pominąć ich efektów pośrednich. Należą do nich w pierwszej kolejności eutrofizacja wód powierzchniowych użyźnianych nanoszonymi rozpuszczalnymi związkami. Niemniej groźne jest oddziaływanie deluwii mechanicznych i chemicznych na niektóre z gleb otaczających erodowany obszar. Znany jest destrukcyjny wpływ węglanów wynoszonych z erodowanych terenów rędzinowych na gleby wytworzone z torfów i użytki zielone na tych glebach. Stratą dla rolnictwa jest również zasypanie przez deluwia, o różnej, często niewysokiej wartości gleb podnóży i dolin. Równie szkodliwe jest uwięzienie w namych znacznych ilości związków próchnicznych i składników mineralnych, chociaż czasami gleby napływowe mogą dać wysokie plony, jeśli nie mają zakłóconych stosunków wodnych.



Walka z erozją wodną gleb polega głównie na niedopuszczaniu do spływów powierzchniowych przez umożliwienie maksymalnej retencji wody w glebie. Nie zawsze jest to możliwe np. podczas wyjątkowo obfitych opadów, lub spływów roztopowych. Dążeniem wówczas zabiegów przeciwoerozyjnych jest kontrolowanie spływów przez ich rozproszenie lub ich koncentrację z odprowadzeniem nadmiaru wody technicznymi urządzeniami. Przedsięwzięcia przeciwoerozyjne można podzielić na agrotechniczne i techniczne. Podstawowym problemem na obszarach zagrożeń erozyjnych jest uregulowanie granicy rolno-leśnej. Pozwoli to zostawić pod okrywą naturalnej roślinności obszary zagrożone zmywami. Las poza tym będzie spowalniał spływ wód na tereny uprawiane. Urządzenia terenów uprawnych winno wymuszać przeprowadzanie wszelkich zabiegów agrotechnicznych w poprzek zboczy. Tereny zagrożenia erozją wymagają specjalnych antyerozyjnych płodozmianów, w których w znacznym procencie występują rośliny o intensywnym systemie korzeniowym wiążącym glebę i przez dłuższy okres czasu okrywające jej powierzchnię (np. rośliny motylkowe z trawami). By zbyt często nie naruszać powierzchni pola czasami rezygnuje się z upraw przewidzianych minimum agrotechnicznym np. podorywek po zbiorze roślin zbożowych. Czasami w ogóle zmienia się system uprawy, rezygnując nawet z podstawowego zabiegu – orki. Sieć dróg dojazdowych głównie gruntowych wkomponowuje się w krajobraz tak by skoncentrowana w nich woda nie doprowadzała do powstania wąwozów. Najbardziej zagrożone rozmywem odcinki zabezpiecza się przez utwardzenie i zabudowę techniczną. Podobnie zabezpiecza się brzegi stałych cieków wodnych, choć w tym przypadku ochrona biologiczna, zakrzewianie i zadrzewianie brzegów, daje lepsze rezultaty niż zabudowa techniczna, oczywiście z wyjątkiem budowy retencyjnych zbiorników. W przypadkach skrajnych nachyleń stosuje się terasowanie zboczy. Zabieg polega na niwelacji części uprawnej zbocza i odpowiednimi zabezpieczeniami, czasami wręcz do obmurowania skarpy terasy. Jest to zabieg kosztowny i ekonomicznie opłacalny przy drogich uprawach (np. uprawa winorośli), lub na terenach niedostatku żywności, a nadmiarze siły roboczej (np. pld. – wsch. Azja).

Erozja wietrzna (eoliczna) jest specyficzna dla stref klimatów suchych. Szczególnie niebezpieczną formą erozji wietrznej jest wywiewanie (deflacja). Wywiewaniu sprzyja odsłonięcie powierzchni gleby w okresach wysuszenia gleby a działania silnych wiatrów. Gwałtowność zjawiska erozji wietrznej odczytać można z określenia go mianem czarnych burz. Globalne niebezpieczeństwo erozji wietrznej polega na tym, że przy nieumiejętnym sposobie zagospodarowania dotyka ona gleb strefy czarnoziemnej potencjalnie najżyźniejszych gleb świata.

Dobrym przykładem mogą być nowo w latach 60-tych zagospodarowane czarnoziemy północnego Kazachstanu. Mimo opinii gleboznawców, naruszono przepłatające się z czarnoziemami gleby słone. Te pozbawione struktury agregatowej gleby uległy rozwianiu zasalając okoliczne czarnoziemy, zdecydowanie obniżając ich przydatność i odporność na erozję wietrzną. Jedynym skutecznym zabiegiem ograniczającym erozję wietrzną jest pozostawienie pokrywy roślinnej, lub jej znaczących resztek (np. wysokich ścierni) na okres nasilonych wiatrów (np. w zimie). Skutecznym, ale trudnym zabiegiem w pasach subborealnych i subtropikalnych suchych są fitomelioracje w postaci zadrzewień (np. pasy leśne).

Erozja wietrzna nie jest w Polsce zjawiskiem istotnie wpływającym na degradację gleb. Może pojawiać się jednak w okresie zimy lub na przedwiośniu przy silnych wiatrach i wysuszonej powierzchni gleby oraz braku pokrywy roślinnej. W przeważającej części roku roślinność chroni nasze gleby przed erozją eoliczną. Procesy erozji eolicznej występują w większym nasileniu na obszarach naturalnych pozbawionych szaty roślinnej, np. wydmy lub antropogenicznych, np. zwałowiska.

### **4.3. Zmiany składu i właściwości gleb**

Zmiany składu i właściwości gleb są dokładnie zinwentaryzowane w odniesieniu do działalności człowieka [37]. Według tych danych około 2 miliardy ha powierzchni łądów podlegało degradacyjnej działalności człowieka, z czego około 10% powierzchni łądów zalesionych i łąkowych zostało przekształconych w pustynie, a dalsze 25% jest zagrożone pustynnieniem. Straty ziemi uprawnej na skutek erozji ocenia się na 6-7 milionów ha rocznie oraz 1,5 miliona ha rocznie na skutek podmokłości, zasolenia i alkalizacji.

Szczegółowe zestawienie powyższych zagrożeń podaje Tabela 7.

W skali globalnej największe obszary są zagrożone działaniem wody i wiatru (przeszło 80% powierzchni łądów). Degradacja chemiczna występuje na ok. 12% powierzchni, a fizyczna, w której dominuje zagęszczenie gleb – ok. 4% powierzchni.

#### *4.3.1. Skład chemiczny gleb*

Skład chemiczny tworzywa glebowego zależy w glebach dziewiczych od składu mineralnego skały macierzystej, warunków wietrzenia oraz możliwości pozostania zwietrzelin *in situ* lub ich transportu. W przypadku przemieszczeń ważną rolę grają odległość i czynnik transportu (np. woda, ruchy powietrza). Generalnie skały magmowe i metamorficzne zasadowe dają szersze spektrum składników niż kwaśne. Skały osadowe powstałe ze zwietrzelin nie transportowanych

**T a b e l a 7.** Degradacja gleb w wyniku działalności człowieka, wyrażona w mln ha [37]  
**T a b l e 7.** Human-induced soil degradation for the world, expressed in million hectares

Typ degradacji	Lekka	Średnia	Silna	Bardzo silna	Ogółem
Utrata wierzchniej warstwy	301,2	454,5	161,2	3,8	920,3
Deformacja terenu	42,0	72,2	56,0	2,8	173,3
<b>Wodna</b>	343,2	526,7	217,2	6,6	1093,7(55,6%)
Utrata wierzchniej warstwy	230,5	213,5	9,4	0,9	454,2
Deformacja terenu	38,1	30,0	14,4	-	82,5
Wywiewanie	-	10,1	0,5	1,0	11,6
<b>Wiatrowa</b>	268,6	253,6	24,3	1,9	548,3 (27,9%)
Strata składników mineralnych	52,4	63,1	19,8	-	135,3
Zasolenie	34,8	20,4	20,3	0,8	76,3
Zanieczyszczenie	4,1	17,1	0,5	-	21,8
Zakwaszenie	1,7	2,7	1,3	-	5,7
<b>Chemiczna</b>	93,0	103,3	41,9	0,8	239,1 (12,2%)
Zagęszczenie	34,8	22,1	11,3	-	68,2
Podmokłość	6,0	3,7	0,8	-	10,5
Osiadanie gleb organicznych	3,4	1,0	0,2	-	4,6
<b>Fizyczna</b>	44,2	26,8	12,3	-	83,3 (4,2%)
Ogółem	749,0 (38,1%)	910,5 (46,4%)	295,7 (15,1%)	9,3 (0,5%)	1964,4(100%)

i bez dłuższego kontaktu z wodą są również zasobne w składniki mineralne. Ilość ich w glebach, obok wspomnianych warunków fazy wietrzenia przed rozpoczęciem procesu glebotwórczego zależy od reżimu wodnego decydującego o kierunkach migracji w profilu glebowym. Ten zależy od klimatu, a głównie od stosunku ilości wody opadowej do ewaporacji. Najmniej zachwianą proporcję w stosunku do uwolnionych podczas wietrzenia mają składniki w warunkach względnej równowagi między wspomnianymi elementami pogodowymi. Przemieszczenie ku górze profilu zapewnia im arydyzacja klimatu, odwrotnie humidyzacja. Z tym związany jest z reguły odczyn. Przemywanie powoduje pojawienie się lub pogłębienie zakwaszenia, z wyjątkiem dużej obecności Ca w skałach i np. w rędzinach. Krótkotrwałe przemieszczenia o zmiennych wektorach lub brak ruchu składników utralają pierwotny odczyn. Wstępujący ruch roztworu powoduje wzrost odczynu i sprzyja zasoleniu gleb. Na Ziemi stwierdza się więc dominację odczynu kwaśnego i zubożenie zwietrzelin w humidowych obszarach strefy subborealnej,

subtropikalnej i tropikalnej, a odczynu zasadowego i salinizacji gleb w obszarach aridowych dwu pierwszych wymienionych stref. Odczyn obojętny zależy więcej od aktualnej jakości zwietrzliny z tendencjami zmian w zależności od położenia w określonej strefie klimatycznej.

Zmiany odczynu i składu tworzywa glebowego są w glebach dziewiczych procesami naturalnymi, a zatem obojętnymi z punktu widzenia rozwoju gleb. Świadczy o tym specyficznie dostosowujące się do warunków odczynu i zestawu składników, głównie pokarmowych, roślinność określonych stref, optymalna dla danej sytuacji środowiskowej.

Podobne zjawisko występuje przy kształtowaniu się niektórych właściwości fizycznych, a głównie ze szczególnie podkreślonym, wśród zagrożeń, zjawiskiem zagęszczenia gleb (soil compaction, ang.). Spotykane jest ono jako efekt naturalnego procesu glebotwórczego, szczególnie w strefie tropikalnej a także jako wynik ugniatającego oddziaływania maszyn na glebę. Naturalne zwarte i zbite poziomy znajdują się w niektórych glebach laterytowych, co wcale nie uniemożliwia vegetacji roślinności tropikalnej o określonym składzie gatunkowym. Podobnie tworzenie się poziomów rudawcowych zezwala na rozwój specyficznej szaty roślinnej.

W nauce o środowisku erozję, zakwaszenie, zasolenie, zmiany w składzie pierwiastkowym, we właściwościach fizycznych z wybiciem na plan pierwszy zagęszczenia gleb wymienia się jednak jako zagrożenia. Wszystkie te zjawiska znalazły się na czołowych miejscach w historycznym już raporcie z Rio de Janeiro. Jest to prawda w odniesieniu do obszarów zantropogenizowanych, szczególnie gruntów ornych.

Odkrycie J. Libiega wyjaśniło zasady mineralnego odżywiania roślin i zależność gospodarki nimi od równowagi jonowej, a mniej od sumy składników. Powszechnie przyjęto że składniki mineralne dzielimy na makro i mikrośladniki. Do pierwszych zalicza się N, P, K, Ca, Mg do drugich, jako główne Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, B, J, F oraz szereg innych, których fizjologiczna rola nie w pełni została rozeznana. Zawartość składników pokarmowych zależy w glebach młodszych od skały macierzystej, a w pełni wykształconych od kierunku procesu glebotwórczego i czasu jego trwania. Główną rolę przejmują wówczas egzogenne czynniki glebotwórcze, klimat i szata roślinna. Od nich zależy szybkość uwalniania się składników z nie zwietrzałych elementów tworzywa glebowego, abiotyczne krążenie w profilu glebowym oraz wymiana między biosferą a glebą. W pierwszym przypadku kierunki krążenia uzależnione są od wektorów ruchu wody i powodują zubożenie wierzchnich warstw gleby z prądem zstępującym, lub

wzbogacenie w przypadku dominacji kierunku odwrotnego. Niezależnie od kierunku przemieszczeń kształtuje się w glebie dynamiczna równowaga, w której niepoślednią rolę odgrywa biocenoza adekwatna do układu elementów środowiska. Biocenoza, np. pasa humidowego, atlantyckiego strefy subborealnej na glebach wytworzonych ze skał bogatych w zasady, hamuje gwałtowniejsze zmiany, równowagi składników. Po pierwsze sorbuje biologicznie znaczne ilości tych składników, unieruchamiając je i chroniąc przed możliwością strat. Po drugie, po odbudowie biologicznej substancji organicznej, powoduje powrót ich do gleby i przywrócenie do obiegu biologicznego. Jak wynika z powyższych rozważań w glebach dziewiczych, o niezakłóconym procesie glebotwórczym wytwarza się stan naturalnej równowagi, chociaż z punktu widzenia człowieka, w pasach humidowych różnych stref klimatycznych, można dopatrzeć się elementów degradacji gleby, np. zakwaszenia. To było najprawdopodobniej powodem uwzględnienia odczynu kwaśnego w kryteriach leżących u podstaw pierwszej mapy degradacji gleb świata, jako jednego ze wskaźników degradacji, niezależnie od przyczyn zakwaszenia. Opracowana na tej podstawie mapa [37], a szczególnie powiązanie na niej odczynu ze składnikami mineralnymi, uznanymi za degradacyjne dla gleby, wywołało znane kontrowersje, w tym i w Polsce, bowiem rzeczywiście pogłębiało stopień zagrożenia w pasie klimatu umiarkowanego humidowego. Teoretycznie względna równowaga w krążeniu pierwiastków trwa do momentu pozostawiania na miejscu produktów odbudowy biologicznej. W przypadku agrocenoz, procesy degradacyjne mogą rozpocząć się w momencie wywiezienia całości lub części plonu poza strefę produkcji. Prowadzi to do wyjałowienia gleb. Likwiduje się je przez nawożenie. Nawożenie może mieć dwójaki cel. Pierwszym jest uzupełnienie wyniesionych z gleby składników i spowodowanie występowania ich w ilościach optymalnych i we właściwych proporcjach. Ten rodzaj nawożenia zamyka się w pojęciu żywienia roślin. Poziom jego ustala się na podstawie analizy gleby i porównania wyników z liczbami granicznymi dla form przyswajalnych lub w oparciu o analizę materiału roślinnego. Drugim celem, obok żywienia roślin, jest ukulturalnienie gleby, w celu spowodowania tzw. "starej" siły nawozowej gleby, która pozwoli mimo czasowego braku dopływu składników, lub błędów w agrotechnice, na niezakłóconą vegetację roślin. Jest to możliwe tylko w przypadku składników sorbowanych przez kompleks sorpcyjny gleby, co praktycznie w większości gleb dotyczy kationów.

Poza nawożeniem źródłem składników mineralnych w agrocenozach może być całokształt zabiegów związanych z ochroną roślin, szczególnie z użyciem

preparatów zawierających pierwiastki niekonieczne do życia roślin, a w większości wręcz szkodliwe.

W przypadku preparatów ochrony roślin, poza związkami mineralnymi, mogą dostawać się do gleby związki organiczne nie występujące w glebie.

Trzecim źródłem wzbogacenia gleb w składniki są emisje z rolniczych [53] i poza rolniczych źródeł [46,62]. Dostające się do środowiska glebowego w niekontrolowanych ilościach mogą przyczynić się do zakłócenia jego równowagi i w konsekwencji do jego degradacji.

Niezależnie od źródła dopływ składników mineralnych do gleby, narusza w niej równowagę jonową. Nie stwarza to istotnych zagrożeń jeśli mieści się w przedziałach spotykanych w glebach, albo jeżeli zostaną one przekroczone, gleba ma możliwości samoregulacji we względnie krótkim czasie. Zagrożenia ze strony samej gospodarki rolnej mogą powstać przy działaniach odbiegających od aktualnego stanu nauk rolniczych, braku oświaty rolniczej i lekceważeniu znanych i potwierdzonych w praktyce zaleceń agrotechnicznych. Często u podstaw leży chęć osiągnięcia jednorazowego a szybkiego efektu. Dobrym przykładem może być, przy całokształcie ekstensywnej gospodarki, nadużycie nawożenia azotowego, które pomijając niepełnowartościowy plon, nie jest obojętne dla gleby.

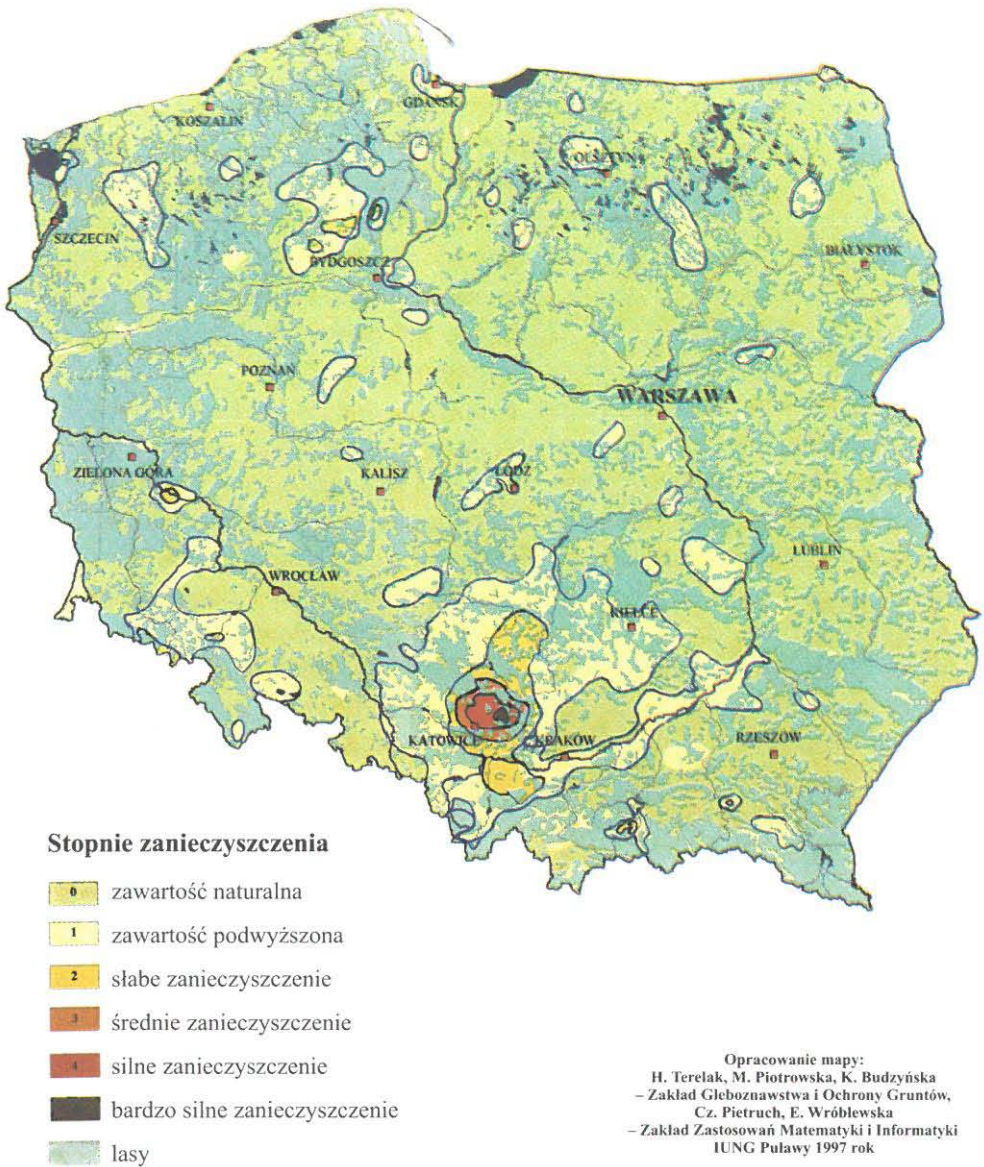
Źródłem zanieczyszczeń gleb z poza rolniczych działów gospodarki, są zakłady przemysłowe i gospodarki komunalnej oraz transport. Szczególnie uciążliwe są zakłady stosujące tzw. brudne technologie dla uzyskania końcowego produktu. Procesy produkcyjne są zmienne w czasie, ale nie w przestrzeni, stąd na Ziemi występują regiony z różnych względów opóźnione w postępie technologicznym. W przeprowadzonych badaniach i ekspertyzach, między innymi w ośrodku lubelskim, stwierdzono zdecydowane różnice w oddziaływaniu na środowisko glebowe zakładów tej samej branży. Zakłady np. odlewnie nie unowocześnione, pracujące na starych jeszcze dziewiętnastowiecznych technologiach, były wyjątkowo uciążliwe dla środowiska, w stosunku do nowoczesnych, nie wymagających nawet stref ochronnych.

Poza bezpośrednimi emisjami źródłem skażeń mogą być również odpady niezabezpieczone na składowiskach, lub rozpraszane, przy nie kontrolowanych próbach przywrócenia ich do obiegu biologicznego. Poprawa technologii i dyscyplina w ich stosowaniu w znacznej mierze ograniczają zagrożenia tego typu. Tym niemniej nie znikną one. Mogą pojawić się przy zaniedbaniach, niedopatrzeniach oraz, czego już były przykłady, przy celowym a potajemnym pozbywaniu się produktów odpadowych np. z chęci obniżenia kosztów produkcyjnych.

Naruszenie równowagi składników mineralnych uwarunkowanych rozwojem gleb w czasie, jest szczególnie niebezpieczne w przypadku mikroskładników, których równowaga bardzo szybko może być naruszona. Klasycznym przykładem mogą być jod i bor. Brak, lub niewystarczająca ilość pierwszego w glebach terenów górzystych powoduje w ostatnim ogniwie żywieniowym, u człowieka, poważne zaburzenia czynności tarczycy. Niedostępność boru w obecności wapnia, np. w rędzinach, rozregulowuje fizjologię wzrostu buraka. O wspomnianych subtelnosciach w proporcjach udziału wymienionych pierwiastków, mogą świadczyć nieznaczne dodatki jodu do soli kuchennej, lub boru do podstawowej masy nawozowej, by zlikwidować objawy niedoborów.

Szczególnie niebezpieczne jest pojawienie się w glebach pierwiastków, których nie ma powszechnie lub gdy występują w śladowych ilościach. Do takich zalicza się metale ciężkie i pierwiastki radioaktywne. Ich występowanie i oddziaływanie bezpośrednie lub przez łańcuch pokarmowy, było w piśmiennictwie naukowym i popularnonaukowym opisywane wielokrotnie [23,29,35]. Nie ma potrzeby tego powtarzać. Ponieważ opisy przedstawiają czasami wręcz wizje apokaliptyczne, konieczną raczej jest próba usystematyzowania i wyważenia zebranego materiału. Dowodem na to niech będą wyniki zebrane przez IUNG w Puławach, a dotyczące niektórych metali ciężkich (Rys. 11). Przy ogólnym mniemaniu o wszechogarniającym zagrożeniu kraju metalami ciężkimi okazało się, że nawet w starych ośrodkach przemysłowych, przekroczenie norm zawartości wspomnianych metali stwierdza się nie na całej powierzchni a punktowo (np. Śląsk Górny). Zawartość metali ciężkich w glebach przeważającej powierzchni kraju nie odbiega od norm przyjętych dla tzw. obszarów czystych. Należy przy tym zwrócić uwagę, że ocena poziomu zawartości pierwiastków winna mieć na względzie ich naturalną zawartość w niektórych glebach wytworzonych np. ze skał kruszonośnych, np. wapieni dolomitycznych lub dolomitów zawierających ołów. W badaniach akceptacji ołowiu przez gleby okolic Miasteczka Śląskiego, dopiero uwzględnienie konstytucyjnego ołowiu w rędzinach wytworzonych ze wspomnianych skał, pozwoliło zamknąć bilans tego pierwiastka i nie uznawać rędzin za gleby wyjątkowo adsorbujące ołów [4].

Obszarowe zanieczyszczenia i groźba naruszenia równowagi jonowej mogą być spowodowane również emisją pierwiastków zaliczanych do makroelementów, chociaż w ich przypadku istnieje dość duża granica tolerancji w porównaniu do mikroelementów. Dotyczy to szczególnie azotu, n.b. jednego z podstawowych pierwiastków biogennych, bezwzględnie potrzebnego do wzrostu i rozwoju roślin. Ciągły dopływ związków azotowych z zakładów syntezy tego pierwiastka



**Rys. 11.** Stan zanieczyszczenia gleb ornych metalami ciężkimi w Polsce [54].

0 – zawartość naturalna, 1 – zawartość podwyższona, 2 – słabe zanieczyszczenie, 3 – średnie zanieczyszczenie, 4 – silne zanieczyszczenie, 5 – bardzo silne zanieczyszczenie, 6 – lasy.

**Fig. 11.** Contamination of Polish arable soils with heavy metals.

0 – natural content, 1 – slightly increased content, 2 – weak contamination, 3 – mean contamination, 4 – strong contamination, 5 – very strong contamination.



powoduje istotne zmiany w środowisku. Zabezpieczające zabiegi wymagają specjalnych działań rekultywacyjnych jak np. wokół Z.A. w Puławach.

Tak z punktu widzenia ogólnoprzyrodniczego jak i rolniczego, istotnym zagrożeniem dla jakości gleby jest dopuszczenie do ujemnego bilansu w krążeniu związków organicznych. Pierwsze symptomy, przed powstaniem nowej równowagi między przychodami a stratami C organicznego, pojawiają się w momencie zmiany użytkowania z naturalnego na grunty orne. Niezależnie od skały macierzystej przejście to powoduje zmniejszenie ogólnej zawartości C. Jest to związane z większym permanentym natlenieniem przyspieszającym mineralizację, dominującą dopływ substancji organicznej. Ma to również wpływ na jakość związków próchnicznych, a głównie kwasów huminowych, do których powstania, a szczególnie polimeryzacji, konieczne są okresy anaerobiozy. Powoduje to zwiększoną labilność związków próchnicznych, co ogranicza ich funkcję w zakresie kształtowania fizycznych właściwości gleb. Ten stan trwa bardzo długo a nawet może się pogarszać w glebach ekstensywnie uprawianych. Możliwość degradacji zasobów i jakości związków próchnicznych może ujawnić się przy próbach upraszczania lub lekceważenia zasad agrotechniki. Dotyczy to szczególnie prób wprowadzenia monokultur oraz prób ograniczenia nawożenia do mineralnego. Wyjątkowo niekorzystnie reagują na to gleby stref umiarkowanie chłodnych humidowych.

#### 4.3.2. *Chemiczna bomba czasowa*

Środowisko przyrodnicze krajów uprzemysłowionych przez długi okres czasu było zanieczyszczane chemikaliami związanymi z działalnością człowieka. Zanieczyszczanie to sięga setek, a nawet tysięcy lat i pojawiło się z chwilą pojawienia się zaczątków górnictwa i hutnictwa metali. Nasilenie procesów zanieczyszczenia gleb, skał, wód i osadów dennych metalami ciężkimi, substancjami organicznymi i składnikami nawozów sztucznych zapoczątkowała 200 lat temu rewolucja przemysłowa związana z gwałtownym rozwojem przemysłu, rolnictwa i ośrodków miejskich.

Zakres i nasilenie zanieczyszczeń może być skoncentrowane na niewielkiej przestrzeni gromadzenia się toksycznych odpadów górnictwa, hutnictwa czy ścieków miejskich wokół źródeł ich powstawania, jak też mogą być ilościowo i przestrzennie rozproszone na terenach pól uprawnych, pastwisk, lasów, osadów jezior, rzek i przybrzeżnych mórz.

Spółczesności przemysłowe czerpią duże korzyści socjo-ekonomiczne z zastosowań nowych technologii, które uwalniają do otoczenia potencjalnie toksyczne chemikalia i podczas gdy korzyści tej działalności są widoczne w krótkim czasie,

to zagrożenia wynikające z akumulacji chemikaliów mogą występować po latach, dziesiątkach, a nawet po setkach lat od ich akumulacji.

Efekt czasowy tych zagrożeń jest ściśle związany ze zdolnością wiązania i akumulacji chemikaliów przez gleby, skały i osady. Te toksyczne substancje mogą być uwalniane do otoczenia po przekroczeniu granicznej wartości ich absorpcji lub też pod wpływem redukcji zdolności sorpcyjnych podłoża na skutek zmian warunków środowiska (odczynu, wilgotności, użytkowania terenu). Uwalnianie to może być powolne lub gwałtowne.

W oparciu o powyższe, w 1990 r. powstała koncepcja tzw. "chemicznej bomby czasowej" (Chemical Time Bomb, ang. – CTB) [51,52], którą zdefiniowano jako: koncept odnoszący się do łańcucha zdarzeń powodujących opóźnienie i nagłe wystąpienie szkodliwych efektów spowodowanych uruchamianiem toksycznych chemikaliów nagromadzonych przez długi okres czasu w glebach i osadach. Temu zagadnieniu poświęcono też wiele prac [16,9-16,21,22,25, 27,31,32,41-43,45,47,49,52,58,59,61,62].

Koncept CTB ma pewne cechy charakterystyczne:

1. Odnosi się do problemów środowiskowych, w których uwalnianie i aktywizacja zmagazynowanych chemikaliów stwarza szkodliwe oddziaływanie.
2. W przeciwieństwie do konwencjonalnego typu zanieczyszczeń w systemach związanych z CTB istnieje różnica czasu między długotrwałą akumulacją chemiczną i nagłym uwalnianiem chemikaliów. Stąd szkodliwe oddziaływanie polutantów jest utajnione i może się ujawnić niespodzianie.
3. Efekty oddziaływania CTB są nieciągłe i nieliniowe.

Spełnienie założeń CTB wymaga uwzględnienia pewnych warunków:

- 1) Podatność gleb do magazynowania chemikaliów. Gleby powinny mieć dużą zdolność długotrwałego magazynowania chemikaliów.
- 2) Jakość chemikaliów magazynowanych. Chemikalia powinny być długotrwałe i odporne na chemiczny rozkład. Do takich należą metale ciężkie i organiczne (węglowodory). Warunkiem w tym przypadku jest również to aby produkty rozkładu były trwałe, pomimo, że rodzime związki mogą być łatwiej rozkładane.
- 3) Sposób użytkowania terenu i zmiana klimatu.

Zmiana warunków środowiska może zmieniać zdolność magazynowania przez glebę szkodliwych chemikaliów uwalniając je do otoczenia (Tabele 8 i 9).

Jako przykłady najczęściej występujących CTB należy wyliczyć:

- 1) Stabilne tlenki Fe, Mn i Al, a szczególnie ich formy amorficzne, które są silnymi sorbentami metali ciężkich i radionuklidów. Ich powierzchnia

**Tabela 8.** Ważne właściwości gleb, decydujące o ich pojemności sorbcyjnej (CCP) w stosunku do metali ciężkich [60]

**Table 8.** Important soil capacity - controlling properties (CCP) for heavy metals

CCP	Charakterystyki
Pojemność wymienna kationów (CEC)	Gleby o niskiej CEC mają niską zdolność zatrzymywania metali ciężkich na drodze sorpcji: CEC zależy od typu i zawartości minerałów ilastych, zawartości substancji organicznej i pH gleby
pH	Obniżenie pH zwiększa rozpuszczalność metali ciężkich, obniża CEC i ogranicza populację glebowych mikroorganizmów
Potencjał redoks Eh	Obniżenie Eh (bardziej redukcyjne warunki) rozpuszcza tlenki Fe i Mn wpływając na uruchomienie zasorbowanych przez nie utlenionych toksycznych chemikaliów
Substancja organiczna S.O.	Obniżenie zawartości S.O. redukuje CEC, buforowe właściwości gleb w stosunku do pH, pojemność sorpcyjną toksycznych związków organicznych, pojemność wodną gleb, zmienia strukturę gleby, m.in. poprzez zwiększenie podatności gleb na erozję, obniża aktywność mikrobiologiczną gleb
Zasolenie	Wzrost zasolenia uruchamia toksyczne chemikalia przez zmianę równowagi jono-wymiennej, zwiększa stężenie roztworów i obniża chemiczną aktywność termodynamiczną roztworu, również obniża aktywność mikrobiologiczną gleb
Aktywność mikrobiologiczna	Zmiana aktywności mikrobiologicznej i populacji ekologicznej gleby może wpływać na zmiany S.O., Eh i pH.

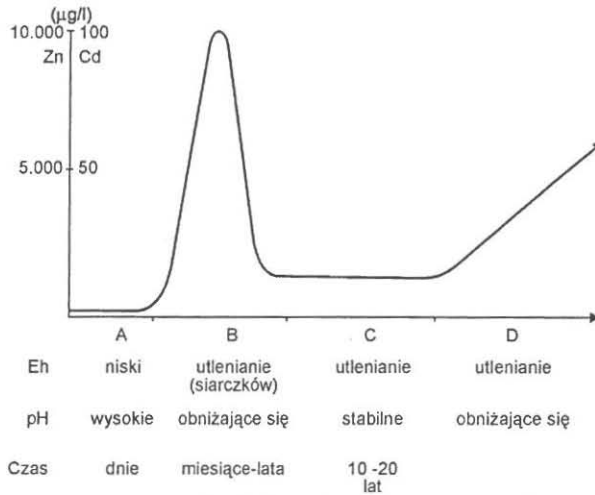
właściwa jest duża ( $100-500 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ). Pod wpływem obniżenia się Eh stają się one rozpuszczalne uwalniając zasorbowane przez nie toksyczne substancje (rys. 12). 30 jednostek glebowych Europy (wg mapy gleb FAO-UNESCO) jest podatne na ten proces [32]. Poprzez obniżenie Eh następuje również zmiana obniżenia wartościowości tych metali i uruchomienie ich form toksycznych.

- 2) Substancje organiczne w glebie stanowią główny magazyn metali ciężkich poprzez tworzenie z nimi trwałych kompleksów. Uwalnianie i mobilność metali z tych kompleksów może zachodzić pod wpływem zmian Eh i pH środowiska.
- 3) Ważnym czynnikiem CTB jest erozja gleby, która może przemieszczać zanieczyszczenia do miejsc niezagrażonych. Przykładem mogą być terasy suchych obszarów w których przez wieki następowała akumulacja różnych soli. Nagle występujące procesy erozyjne spowodowały uruchamianie, transport przez wody rzeczne i akumulację tych soli w innych miejscach. Zjawiska takie wystąpiły np. w prowincji Valencji (Hiszpania) w rejonie

**Tabela 9.** Związki między działalnością człowieka a właściwościami gleby decydującymi o ich pojemności sorpcyjnej (CCP) [60]

**Table 9.** Linkages between human activities and changes in capacity-controlling properties (CCP)

CCP	Działalność człowieka wpływająca na CCP
CEC	Wpływ pośredni poprzez zmiany pH, zawartość S.O. i zasolenie
pH	Opad atmosferyczny, zabiegi rolnicze (nawożenie), zmiany klimatu
Eh	Odwadnianie bagien lub nawadnianie terenów osuszonych
S.O.	Zmiany pokrywy roślinnej, zabiegi rolnicze zwiększające lub degradujące S.O. gleby
Zasolenie	Nawadnianie gleb zasolonymi wodami gruntowymi, wpływ wód morskich
Aktywność mikrobiologiczna	Wpływ pośredni poprzez zmiany Eh i pH oraz bezpośredni wywołany działaniem toksyn i zmianami klimatu



**Rys. 12.** Różne fazy uwalniania metali z lądowych osadów materiałów pochodzących z działań pogłębiarek [12]

**Fig. 12.** Different phases of metal release from land-disposed dredged material

nieczynnych kopalni rtęci. Wpływ cyklicznych zmian procesów erozji i osadzania na obniżeniach stężeń metali w osadach przybrzeżnych pokazuje rys. 13.

Podobne procesy uwalniania zakumulowanych środków ochrony roślin mają miejsce w glebach uprawianych bezorkowo (zero-tillage, ang.) Belgii, Hiszpanii, USA.



**Rys. 13.** Obniżenie stężenia metali w osadach przybrzeżnych na skutek cyklicznych procesów erozji i osadzenia [12]

**Fig. 13.** Decrease in metal concentrations in coastal sediments through cyclic processes of erosion and deposition

- 4) Z pojęciem CTB ściśle wiąże się działalność mikroorganizmów, która w określonych warunkach może intensyfikować procesy uruchamiania związków i toksycznych substancji organicznych (np. chloropochodne, pestycydy), czy metali ciężkich.
- 5) Wymywanie nagromadzonych w glebach fosforanów pochodzących z nawozów, również jest dobrym przykładem CTB. Dotyczy to szczególnie przenawożonych obszarów Europy Zachodniej, gdzie w wierzchniej warstwie gleb słabo zdrenowanych może być zakumulowane do 2000 kg  $P_2O_5$  na hektarze.
- 6) Kolejnym przykładem CTB może być akumulacja w glebach ornych Cd pochodzącego z nawozów, środków ochrony roślin i opadu atmosferycznego, a także w pobliżu hut (np. w Kampen, Holandia). Zakwaszenie gleb uruchamia Cd.
- 7) Przykładem naturalnej CTB są siarczanowe gleby kwaśne bagiennych terenów przybrzeżnych obu Ameryk, Afryki południowej, Azji i zachodniej Australii. Melioracja tych gleb prowadzi do szkodliwych zjawisk wynikających z utleniania zawartego w nich pirytu do wodorotlenku żelaza i silnego zakwaszenia środowiska.

- 8) Miejskie wysypiska śmieci mogą wytwarzać toksyczne związki będące potencjalną CTB. Do tych związków zalicza się: metale ciężkie, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, toksyczne związki organiczne, patogeny, PVC.
- 9) Innym przykładem są związki rtęci w osadach dennych jezior Szwecji pochodzące ze środków ochrony roślin, które po 20 latach od zaprzestania ich stosowania, wykazały toksyczne działania na skutek wystąpienia specyficznych procesów mikrobiologicznych w tych osadach.

#### 4.3.3. Zakwaszenie gleb

Kwasowość gleb jest wynikiem obecności w nich wolnych protonów (H<sup>+</sup>).

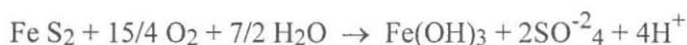
W naturalnych warunkach źródłem kwasowości gleb jest rodzaj skały macierzystej pozbawionej składników zasadowych, a ponadto:

- obecność silnych kwasów mineralnych (szczególnie HNO<sub>3</sub>), będących produktami końcowymi tlenowego rozkładu azotowych związków organicznych w procesie nityfikacji;
- obecność dwutlenku węgla pochodzącego z respiracji korzeni i rozkładu obumarłych szczątków roślinnych;
- większe pobieranie przez rośliny kationów niż anionów;
- przemysłowy proces glebotwórczy wynikający z przewagi opadów nad parowaniem powodujący wymywanie składników zasadowych z wierzchnich poziomów glebowych.

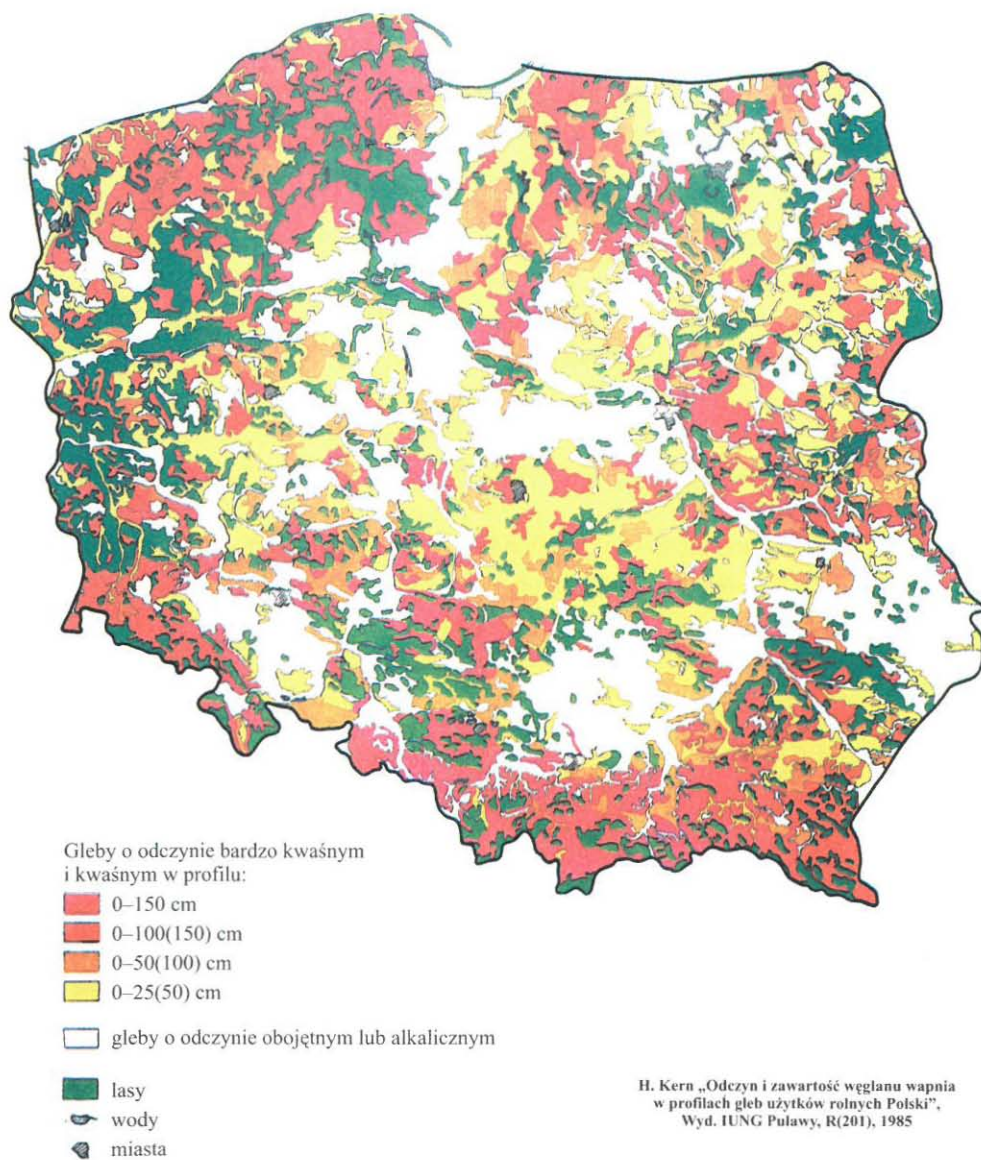
Przykładowo stan kwasowości gleb Polski przedstawia rys. 14.

Naturalnym źródłem silnego zakwaszenia gleb są również związki siarki pochodzące z erupcji wulkanicznych.

Silne zakwaszenie gleb występuje na odwodnionych obszarach zasobnych w potencjalne związki zakwaszające, np. piryt. W omawianych warunkach dostępu tlenu przemiany pirytu przebiegają w kilku etapach, które można ująć ogólnym wzorem:



Utlenianie pirytu prowadzi do zmiany pH gleb od obojętnego do silnie kwaśnego (poniżej 3) i do powstania kwaśnych gleb siarczanowych określanych w klasyfikacji FAO/UNESCO jako Thionic Fluvisols. Obszary takich gleb o powierzchni ok. 13 mln. ha występują na wybrzeżach morskich Azji, Afryki i Ameryki Południowej.



Rys. 14. Gleby Polski o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym ( $\text{pH} < 5,5 \text{ KCl}$ ) [24]

Fig. 14. Polish soils with very acid and acid reaction ( $\text{pH} < 5,5 \text{ KCl}$ )

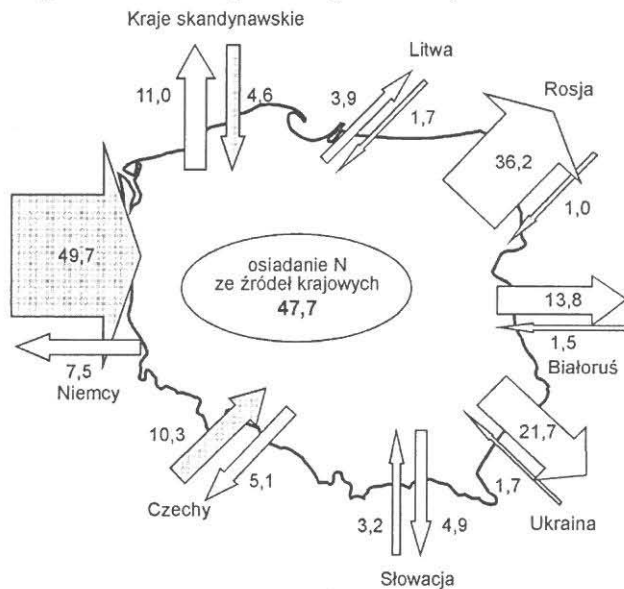
Gleby kwaśne siarczanowe charakteryzują się, oprócz niskich wartości pH, występowaniem toksycznych form glinu, żelaza, a w przypadku ponownego dłużej trwającego (rok i więcej) zalania ich wodą, toksycznością  $H_2S$ . Gleby te wykazują również niedobory azotu i fosforu oraz zasolenie.

Oprócz naturalnych czynników, istotnym elementem zakwaszenia gleb są silne kwasy atmosferycznych opadów pochodzenia antropogenicznego w postaci deszczu tzw. "kwaśne deszcze" lub suchego opadu. Opady te zawierają  $SO_2$  i  $NO$  uwalniane podczas spalania węgla i innych materiałów, a także  $NH_3$  pochodzący z intensywnej produkcji zwierzęcej. Przykładem źródeł i wielkości związków zakwaszających środowisko Polski są rys. 15 i 16.

#### 4.3.4. Zasolenie i alkalizacja (sodifikacja) gleb

Zasolenie i alkalizacja gleb jest powodowana obecnością w nich nadmiernych ilości soli,  $Na$  lub  $Na + Mg$ .

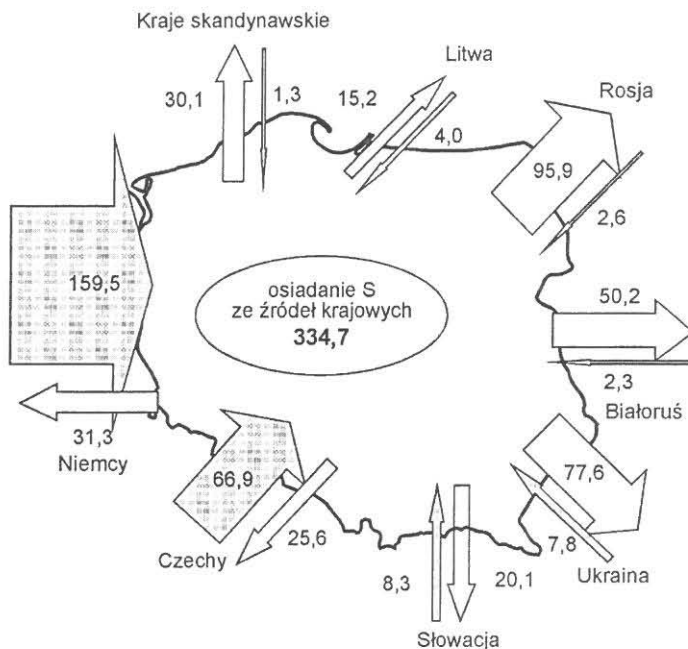
Zasolenie gleb jest określane przewodnością elektryczną nasyconego roztworu glebowego Ecs (electrical conductivity of saturation extract, ang.) i wyrażane w  $mS/cm$ , natomiast alkalizacja jest wyrażana procentową zawartością wymiennego  $Na$  (exchangeable sodium percentage – ESP).



**Rys. 15.** Przepływ związków azotu utlenionego [ $10^3$  t (N)/rok] do Polski i z Polski w 1995 roku wg wstępnych obliczeń EMEP [40]

**Fig. 15.** Transboundary transport of oxidized nitrogen compounds [ $10^3$  t (N)/year] to and from Poland in 1995 (based on provisional EMEP calculations)





**Rys. 16.** Przepływ związków siarki utlenionej [ $10^3$  t (S)/rok] do Polski i z Polski w 1995 roku wg wstępnych obliczeń EMEP [40]

**Fig. 16.** Transboundary transport of oxidized sulphur compounds [ $10^3$  t (S)/year to and from Poland in 1995 (based on provisional EMEP calculations)

Klasyfikacja gleb według wymienionych wskaźników wyróżnia 4 grupy gleb zasolonych i 4 grupy gleb zasadowych [39]:

Gleby zasolone

1. Nie zasolone Ecs < 5 mS/cm
2. Słabo zasolone Ecs 5-8 mS/cm
3. Średnio zasolone Ecs 9-16 mS/cm
4. Silnie zasolone Ecs > 16 mS/cm

Gleby alkaliczne

1. Nie alkaliczne ESP < 6 do głębokości 100 cm
2. Lekko alkaliczne 6 < ESP < 15 do głębokości 100 cm
3. Średnio alkaliczne 6 < ESP < 15 do głębokości 40 cm
4. Silnie alkaliczne ESP < 15 do głębokości 40 cm

W warunkach naturalnych źródłem soli w glebach jest morze i osady morskie, a także mogą być produkty wietrzenia innych skał i produkty aktywności wulkanów.

Gleby zasolone i alkaliczne zajmują znaczne obszary w klimatach arydowych i semi-arydowych, o przewadze wielkości parowania nad opadami, ale występują

również w klimatach bardziej humidowych, szczególnie w strefach przybrzeżnych.

Zasolenie gleb jest powodowane też stosowaniem długo trwających nawodnień przy braku dostatecznego drenażu gleb. Na początku stosowania nawodnień nie występują problemy zasolenia gleb, bowiem sól jest wymywana w głąb do wód gruntowych, które stopniowo są wzbogacane zarówno wodą nawadniającą, jak i solą. Postępujący jednak podsiąk, intensyfikowany transpiracją lub ewapotranspiracją, a także przesiąkającą wodą gruntową z pobliskich wyżej położonych terenów, powodują wzrost zasolenia powierzchni gleb. Wielkość tego zasolenia jest często ściśle skorelowana z mikrotopografią terenu.

Zasolenie wpływa ujemnie na wzrost roślin, natomiast alkalizacja degraduje strukturę gleby. Oba te procesy powodują, że omawiane gleby są ubogie i ekstensywnie wykorzystywane. Dla ich ulepszenia stosuje się kosztowne systemy melioracyjne, mające na celu usuwanie z gleb soli przy równoczesnym zapewnieniu wystarczającej ilości wody dla roślin.

#### 4.3.5. Przesuszenie (pustynnienie) gleb

Pustynnienie jest jedną z form degradacji gleby zachodzącą głównie w warunkach zbliżonych do pustynnych w strefach semiaridowych i aridowych.

Proces ten ma ścisły związek ze zmianami klimatu powodującymi sukcesję pustyni na obszary stepowe i sawann, a także działalnością człowieka szczególnie w okresie ostatnich 300 lat.

Antropogeniczne przyczyny pustynnienia to:

- 1) intensywne wylesienie terenów z przeznaczeniem ich na pastwiska i grunty orne, zaś drzew na cele budowlane;
- 2) wypasanie łąk głównie przez owce i kozy;
- 3) wzrost zaludnienia powodujący intensywniejsze wykorzystanie terenów, które po wyludnieniu stają się nieużytkami podatnymi na większą degradację;
- 4) uprawa monokultur oraz niewłaściwe zabiegi agrotechniczne i melioracyjne.

Proces pustynnienia oprócz degradacji roślinności, intensyfikuje procesy erozyjne.

#### 4.3.6. Zagęszczenie gleb

Zagęszczenie gleby (soil compaction, ang.) polega na zmniejszeniu jej porowatości i przepuszczalności oraz na zwiększeniu naprężenia pod wpływem sił zewnętrznych. Wywiera ono istotny wpływ na właściwości i procesy glebowe, a w konsekwencji na rośliny i produkcję roślinną [48].

Zagęszczenie gleby zmienia jej warunki wodno – powietrzne, ogranicza rozwój korzeni roślin, pobieranie przez rośliny wody i składników pokarmowych, a w efekcie wpływa ujemnie na wielkość biomasy i jej cechy jakościowe.

Z kolei zagęszczenie gleb wraz z ich zaskorupianiem i niszczeniem struktury agregatowej pod wpływem deszczu, intensyfikuje procesy erozyjne [3,31].

Zagęszczanie się gleby jest procesem naturalnym zachodzącym pod wpływem wilgotności i temperatury oraz procesu glebotwórczego związanego z tworzeniem się poziomów iluwalnych, orsztynowych i węglanowych.

Problem nadmiernego zagęszczenia gleb, jako elementu ich degradacji, pojawił się z chwilą intensyfikacji rolnictwa, a szczególnie z jego mechanizacją (przejazdy ciężkich maszyn), zabiegom uprawowym prowadzonym w warunkach wysokiej wilgotności gleb, udeptywaniem przez zwierzęta.

Duża masa traktorów i kombajnów sięgająca 20 Mg, częstotliwość ich przejazdów oraz wibracje w trakcie ich pracy na polu, powodują nadmierne zagęszczenie zarówno wierzchniej warstwy gleby, jak i podglebia.

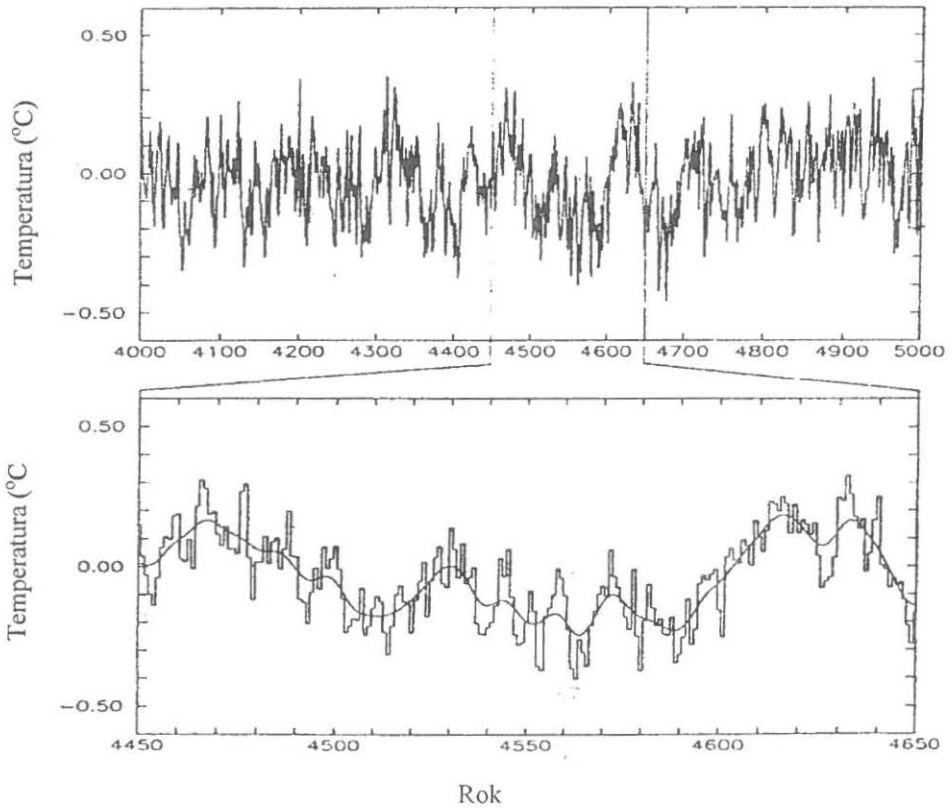
#### **4.4. Globalne zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko glebowe**

Globalne zmiany temperatury są notowane we wszystkich okresach historii Ziemi. Są one małej częstotliwości (10 lat) lub wysokiej częstotliwości ( $\geq 10$  lat) [19]. Symulację takich zmian w okresie czasu 1000 lat przedstawia rys. 17.

Jak widać z tego rysunku, zmienność temperatury może być znaczna, powodując w skali globalnej zmiany do  $0,4^{\circ}\text{C}$  w okresie ok. 30 lat. Zmiany te są powodowane czynnikami naturalnymi (np. wpływem termicznym oceanów), a także są one związane z efektem cieplarnianym, głównie ze zwiększeniem stężenia  $\text{CO}_2$  w atmosferze Ziemi (rys. 18), którego znaczny przyrost (ok. 25%) zarejestrowano w ostatnich dekadach.

Należy nadmienić, że tzw. gazy cieplarniane (dwutlenek węgla, metan, węglowodory) wytwarzane są zarówno przez przyrodę jak i działalność człowieka. Dwutlenek węgla np. powstaje przy oddychaniu wszystkich żyjących organizmów, z pożaru lasów, rozkładu materii organicznej, z erupcji wulkanów, a także z paliw kopalnych używanych przez człowieka. Węglowodory dostają się do atmosfery także z gazów trawiennych przeżuwaczy, zaś źródłem metanu są bagna, pola ryżowe i kopalnie węgla.

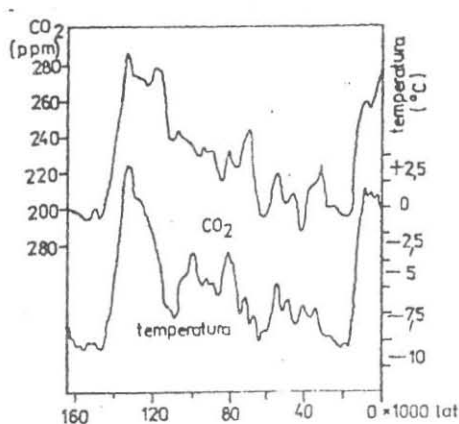
Przyjmuje się, że przyrost stężenia gazów cieplarnianych ma i będzie mieć przez długi czas charakter liniowy. Naturalne zaś zmiany klimatu cechują przebieg sinusoidalny, co oznacza, że przyrost temperatury nie jest liniowy, lecz może ulegać wahaniom, przy ogólnej tendencji wzrostowej.



**Rys. 17.** Symulacja intensywności zmian średniej globalnej temperatury w okresie piątego 1000-letnia ze 100.000 bieżących lat, przy powiększonej skali okresu 200 lat na dolnym rysunku [64]  
**Fig. 17.** Simulation of internally generated natural variability of global mean temperature. The upper panel is the fifth 1.000 years of a 100.000-yr run, with 200 years enlarged in the lower panel

Zakłada się, że efekt cieplarniany i związane z nim ocieplenie klimatu w Europie spowoduje wzrost średniej temperatury o ok.  $3^{\circ}\text{C}$  w okresie najbliższych 50-100 lat przy wzroście opadów o ok. 10%. Przewiduje się, że zimy będą wilgotniejsze a lata suchsze, z jednoczesnym wzrostem częstotliwości i natężenia ekstremalnych warunków meteorologicznych [19].

Symptodem ocieplenia globalnego klimatu są występujące w ostatnich dekadach susze w Afryce, USA i Europie, wzrost poziomu morza o ok. 0,5-2,5 m w ciągu ostatnich 100 lat na skutek ocieplenia obszarów polarnych. Wzrost poziomu morza powoduje zmniejszenie odpływu wód lądowych przez rzeki, co przy zwiększonych opadach stwarza sytuacje powodziowe w strefie klimatu umiarkowanego



Rys. 18. Zapis długotrwałych zmian stężenia CO<sub>2</sub> i temperatury powietrza na Ziemi [cyt. za 17]  
 Fig. 18. Long term records of changes in atmospheric temperature and CO<sub>2</sub> content

i subtropikalnego. Nastąpi zmniejszenie się obszarów wiecznej zmarzliny na Syberii i powiększenie terenów pustyń [38]. Również są zagrożone poważną redukcją tereny okresowo nawadniane, stanowiące ok. 12% powierzchni lądów i stale nawodnione ("Terrestrial" wetlands) stanowiące ok. 3,3% powierzchni lądów. Tereny te stanowią magazyn węgla organicznego i składników chemicznych dostarczanych z przyległych terenów, ale również są głównym źródłem metanu uwalnianego do atmosfery [44].

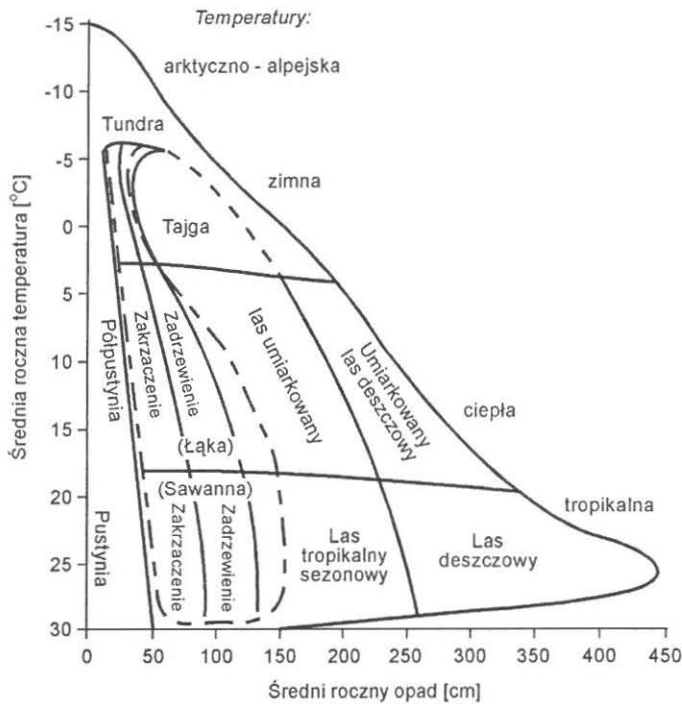
Zmiany klimatu wywierają istotny wpływ zarówno na użytkowanie ziemi, jak i na gleby. Wpływ zmian klimatu na użytkowanie ziemi w Europie przedstawia w swym artykule Hekstra [4], a przewidywane zmiany rejonizacji upraw w Polsce można znaleźć w opracowaniu Bisa i in. [7].

#### 4.4.1. Efekty strefowe zmian klimatu

Przewidywane zmiany w środowisku przy założeniu wzrostu globalnego temperatury posłużyły do opracowania kilku scenariuszy [19].

Zmiany te uwzględniają aktualne zależności różnych typów biomasy od temperatury i opadów (rys. 19).

W oparciu o założony scenariusz wzrostu temperatury o 4-5°C nastąpi zmiana lasów liściastych na roślinność stepową a tundra przekształci się w lasy mieszane lub liściaste. Obecna tundra i tajga staną się głównym źródłem emisji CO<sub>2</sub> tracąc swą rolę jego magazynowania jak to było od czasu Pleistocenu. Nastąpią również zmiany w bilansie hydrologicznym.



Rys. 19. Typy biomasy ziemskiej determinowanej temperaturą i opadami [19]

Fig. 19. World biomass types as determined by temperature and precipitation

### Przybrzeżne niziny

W przypadku przybrzeżnych nizin, nie tyle zagrożonych przez wzrost poziomu morza o 0,5-1 cm rocznie, co przez częstsze fale sztormowe, tracą one swój rolniczy charakter z możliwością rozwinięcia w lagunach kultur morskich. Penetracja soli do wód gruntowych i pitnych stworzy kolejne zagrożenie.

### Region śródziemnomorski

Wzrastająca susza charakterystyczna dla tego regionu, spowoduje spowolnienie akumulacji materii organicznej w glebie, niszczenie struktury gleby, zmiany w zasoleniu i bilansie wodnym z przewagą sływów powierzchniowych intensyfikujących procesy erozyjne i powodzie.

Przejście z subhumidowych lasów do pustyni spowoduje redukcję biomasy drzewnej. Przewiduje się wzrost opadów w regionie śródziemnomorskim intensyfikujących erozję.

Rolnictwo i sadownictwo staną się mniej wydajne.

W regionach alpejskich (Pireneje, Alpy, Karpaty, Kaukaz) ocieplenie o 5°C teoretycznie przesunie wszystkie strefy roślinne w wyższe partie gór o ok. 500 m na zboczach północnych i 800 m na południowych. Obszary poniżej 1500 m (po stronie północnej) i do 1800 m (po stronie południowej) staną się bezmrozowe. Ogólnie, ilość zmagazynowanej wody w pokrywie śnieżnej znacznie się obniży jako wynik wzrostu temperatury w zimie. Przewidywane drastyczne zmniejszenie areалу zajmowanego przez lodowce odsłoni znaczne obszary z niestabilnym materiałem morenowym, będącym aktywnym źródłem osadów dla lokalnych wód biejących, jezior i zbiorników wodnych. Będzie więcej wysokich przepływów i intensywniejsze procesy erozyjne, szczególnie na wylesionych zboczach. Rolnictwo alpejskie przesunie swój zasięg z pastwiskowego użytkowania ziemi do bardziej ciepłolubnych upraw warzyw, owoców, winnic i tytoniu z tym, że niektóre obszary (wschodnie Alpy, Karpaty) będą wymagały nawodnień, co z kolei zagrozi wzrostem zasolenia gleb. Lasy alpejskie, przesunięte w wyższe partie gór, zredukują produkcję biomasy drzewnej i będą narażone na mniejszą liczbę opadów i na zwiększone zakwaszenie wód gruntowych jako wynik arydizacji, niezależnie od przemysłowej acydyfikacji i rolniczych praktyk.

#### Oceaniczna strefa umiarkowana (Zachodnia Europa)

Strefa zachodnia (oceaniczna) do 9 wieku była niemal w całości pokryta lasami liściastymi. Obecnie lasy te są szczątkowe. Przewidywane wyższe temperatury, rzadsze deszcze i częstsze sztormy spowodują przejście do tzw. kulturalnego stepu nie mającego związku z naturalną zmianą biomasy. Cały obszar będzie pod wpływem technicznej działalności człowieka. Reliktowe lasy stracą swoją bioróżnorodność i zostaną przesunięte do północno-śródziemnomorskiego typu suchych zadrzewień.

Strefa południowo-zachodnia (Francja, północna Hiszpania) stanie się coraz suchsza, z wysokimi ale krótkotrwałymi przepływami wód rzecznych i długimi okresami bardzo niskich przepływów wywierającymi wpływ na rybactwo i prowadzących do zasolenia gleb pod wpływem nawodnień. Przewiduje się również wzrost chemicznych zanieczyszczeń, związków powodujących eutrofizację i kwaśnych opadów.

Rzeki (Moza, Ren, Wezera, Elba) będą nawiedzane incydentalnie krótkimi wysokimi przepływami wiosennymi po stopieniu śniegów alpejskich, a także okresowymi ekstremalnymi niskimi odpływami późnym latem do zimy, stanowiącymi ograniczenie wody dla gęsto zaludnionych obszarów. Wysokie przepływy zintensyfikują erozję i sedimentację, której osady nie będą wynoszone

do morza, co przy wzroście jego poziomu będzie powodować poważne zakłócenie u wybrzeży. Problemy te, a szczególnie nasilenie erozji w terenach lessowych, będą likwidować nadprodukcję rolną nawet z perspektywą włączenia do niej gleb marginalnych. W tym przypadku ograniczającym czynnikiem będzie niedostatek wód, zarówno powierzchniowych jak i gruntowych, w terenach niżej położonych, zagrożonych również penetracją soli z wód morskich.

#### Kontynentalna strefa umiarkowana (Wschodnia Europa)

W omawianej strefie dominowała roślinność łąkowa, obejmująca tereny równin węgierskich, północnego wybrzeża Morza Czarnego po południowy Ural i dalej do południowej Syberii, również od wzgórz Anatolii przez Iran do Afganistanu. Te obszary obecnie są użytkowane rolniczo z tym, że wiele stało się półpustyniami (duża część Kazachstanu i Uzbekistanu).

Mezopotamia, kolebka zachodniej cywilizacji, była zasilana wodami Tygrysa i Eufratu ze wschodniej Turcji, który to teren ma, przez większość roku, mieć obniżone opady redukujące wilgotność gleby o ok. 50-70%. Pustynnieniem są zagrożone tereny od Mezopotamii w kierunku zachodnim do obecnie dobrze zalesionych północno-zachodnich obszarów Turcji i Bułgarii wzdłuż dolnego Dunaju.

Cały obszar będzie charakteryzował wzrost potencjalnej ewapotranspiracji. Wody gruntowe w dolinach Dunaju – Tiszy mogą zanikać w czasie przedłużających się okresów suszy. Akumulacja soli będzie występować raczej na pewnej głębokości gleby. W przypadku jeziora Balaton, wzrost rocznej temperatury o 0,5 °C i 5% obniżenie rocznych opadów może spowodować, że stanie się ono zamkniętym jeziorem śródlądowym.

Dalej na wschód rozpościerają się żyzne lessowe obszary południowej Ukrainy i dolnej Wołgi. O ile według prognoz, na tych terenach zaistnieją temperatury zimowe typowe dla północnych Włoch, wówczas wzrost ewapotranspiracji poważnie zakłóci stosunki wodne gleb, wpływające na wzrost ich zasolenia. Jedynie tereny górnej Wołgi, będące pod wpływem cyrkulacji oceanicznej morza Bałtyckiego będą miały większe opady.

Wielkość sedymentów wnoszonych przez rzeki do Morza Czarnego była do 200 r. n.e. niska. Dopiero późniejsze nasilenie kolonizacji, pociągające za sobą wylesienie i przejście do dzisiejszego kulturalnego stopnia spowodowało zwiększenie ładunku sedymentów.

Północne obszary równin Ukrainy staną się zalesione, przechodząc do lasów liściastych lessowej strefy czarnoziemnej zasobnej w glebowy węgiel.



W pobliżu strefy borealnej występują lasy mieszane graniczące z południowym Bałtykiem i rozciągające się przez tereny północnej Rosji do Uralu. Występują tu gleby bielcowe, a większość rzek wpadających do Bałtyku charakteryzuje się stosunkiem wielkości opadów do spływów równym 23-24%. Obszary przybałtyckie i górnej Wołgi zyskają na skutek wzrostu temperatury i opadów dzięki głębszej penetracji powietrza oceanicznego. Nie wpłynie to istotnie na procesy erozyjne. Na rosyjskich nizinach obserwuje się w ostatnim wieku dramatyczną degradację próchnicy rzędu 23-60% w strefie laso – stepowego czarnoziemiu oraz 17-40% na stepach południowo-wschodnich, z największym nasileniem w Mołdowii. Straty te są wynikiem wadliwej gospodarki, ale mogą być spowolnione ociepleniem klimatu.

#### Strefa borealna (tajga)

Borealna strefa naturalnej roślinności to mrozoodporne lasy sosnowe rosnące na ubogich organicznych glebach o małej zdolności buforowej. Zakłada się wzrost temperatury w lecie o 5°C i w zimie o 8-10°C, natomiast rocznych opadów o 20-40%. Spowoduje to przedłużenie sezonu wegetacyjnego o 70-100 dni i dramatyczną zmianę naturalnej roślinności. Wzrośnie znacznie potencjał rolniczy tych terenów z tym, że czynnikiem ograniczającym będzie obniżenie przepuszczalności i przejezdności gleb ilastych, a także deszczowy okres w czasie żniw. Przewiduje się wzrost spływu powierzchniowego (Norwegia 5-10%, Szwecja 15%, Finlandia 30-40%), który powinien być wykorzystany do zasilania hydroelektrowni. Zmniejszy się ryzyko wiosennych powodzi z uwagi na cieńszą pokrywą śnieżną i lepsze wykorzystanie wód spływających. Obniży się też zagrożenie pożarami lasów.

#### Strefa arktyczna (tundra)

Ta strefa ulegnie najbardziej dramatycznej zmianie pod wpływem ocieplenia klimatu. Zniknięcie wiecznej zmarzliny stworzy warunki do sukcesji gatunków drzewiastych tajgi, choć będzie to ograniczone małą intensywnością światła na wiosnę i w lecie. Z uwagi na fakt, że większość arktycznej tundry europejskiej znajduje się w pobliżu morza, trudno jest przewidzieć jaki będzie wpływ podwyższonego poziomu morza na obszary pozbawione wiecznej zmarzliny.

#### *4.4.2. Wpływ zmian klimatu na gleby i procesy glebowe*

Wpływ zmian klimatu na gleby i procesy glebowe opisują liczni autorzy m.in. [30,36,60,63].

Zmiany we właściwościach gleb pod wpływem głównych czynników glebotwórczych (klimat, szata roślinna, stosunki wodne), zachodzą w różnych przedziałach czasowych [12].

Okres czasu, w którym dane właściwości glebowe uzyskują stan równowagi z otoczeniem tzw. "Characteristic Response Time" (CRT), wynosi:

- dla fazy gazowej gleby  $\sim 10^{-3}$  do  $10^{-1}$  lat,
- dla fazy ciekłej gleby  $\sim 10^{-2}$  do  $10^0$  lat,
- dla fazy biotycznej gleby  $\sim 10^{-1}$  do  $10^2$  lat,
- dla fazy stałej gleby  $\sim 10^0$  do  $10^6$  lat.

Z powyższego widać, że 3 pierwsze fazy glebowe mogą ulegać znacznie szybszym zmianom pod wpływem czynników zewnętrznych niż stała faza gleby. Stała faza może natomiast lepiej rejestrować długotrwałe zmiany środowiska.

Zmienność różnych charakterystyk glebowych jako wynik globalnego ocieplenia przedstawia tabela 10.

Procesy w przedziale czasowym 1 – 100 lat obejmują zmiany w:

- zasoleniu i alkalizacji gleb (1 mies. – 10 lat);
- mezo- i makrofaunie glebowej (1 – 10 lat);
- stabilności struktury i wodnych charakterystyk gleby (1 – 10 lat);
- stanie składników pokarmowych, zakwaszeniu i stosunkach redoks gleb (10 – 100 lat);
- ilości i jakości węgla organicznego i poziomu azotu (1 – 10 lat);
- podatności gleb na erozję (10 – 100 lat);
- żelazie i minerałach amorficznych (10 – 100 lat).

Wpływ zmian klimatu na procesy glebowe powodujące uruchamianie magazynowanych w glebie składników pokazuje rys. 20.

#### Przekształcenie materii organicznej gleby i emisja CO<sub>2</sub>

W skali globu, gleby zawierają ok.  $1500 \times 10^{13}$  g C w postaci materii organicznej. Stanowi to ok. dwukrotną ilość węgla atmosferycznego [30]. Stąd też rozkład tej materii może istotnie wpływać na globalne ocieplenie. W miarę jak gleba wilgotna ociepla się następuje szybszy rozkład materii organicznej i uwalnianie CO<sub>2</sub> (rys. 21).

Zasoby węgla są nierównomiernie rozłożone na powierzchni lądów, co pokazuje rys. 22.

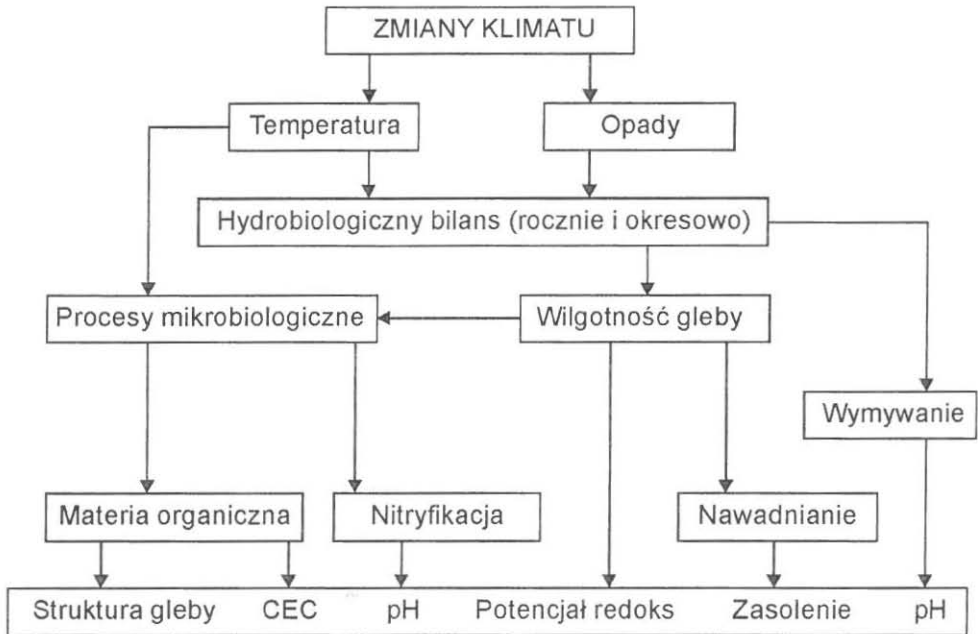
Obieg C w ekosystemie glebowo – roślinnym jest zróżnicowany, trwa poniżej 1 roku w przypadku rocznej roślinności i tysiące lat w przypadku materii organicznej głębszych części profilu glebowego.

**Tabela 10.** Zmienność różnych charakterystyk glebowych w czasie [60]  
**Table 10.** Time changeability of various soil characteristics

Czas zmian (lata)	Parametr glebowy	Właściwość	Stosunki
1. $<10^{-1}$	- gęstość - porowatość ogólna - wilgotność - przepuszczalność - skład powietrza - zawartość azotanów	- zagęszczenie	- powietrzne - ciepłe
2. $10^{-1}-10^0$	- połowa pojemność wodna - pH - skład roztworu glebowego - zawartość składników pokarmowych	- mikrobiota	- aktywność mikrobiologiczna - chemizm gleby regulowany przez człowieka
3. $10^0-10^1$	- punkt wędnięcia roślin - kwasowość gleby - pojemność kationo-wymienna - skład jonowy wyciągów glebowych	- typ struktury - roczny rozwój korzeni - mezofauna	- wilgotnościowe - żyzność naturalna - zasolenie-alkaliczność - wieczna zmarzlina
4. $10^1-10^2$	- powierzchnia właściwa - zawartość minerałów ilastych i substancji organicznej	- glebowe organizmy żywe	
5. $10^2-10^3$	- skład minerałów pierwotnych - skład chemiczny części mineralnej gleb	- kolor gleby - kongrecja Fe - miąższość gleby - zagęszczenie podglebia	
$>10^3$	- skład granulometryczny - gęstość fazy stałej	- skała macierzysta - głębokość	

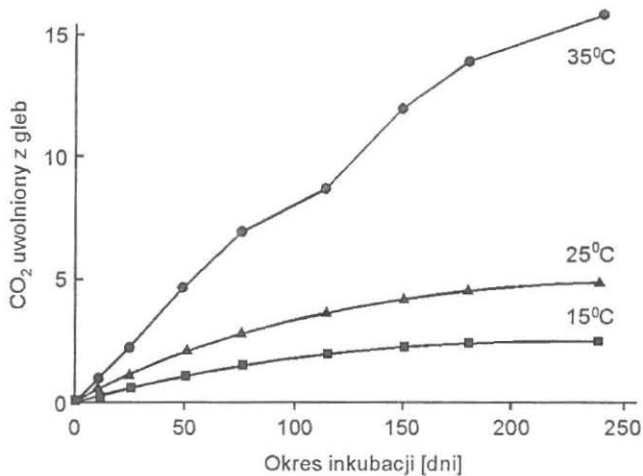
Materia organiczna szczątków roślinnych (słomy) ulega rozkładowi w 20% w ciągu 4 lat w strefie klimatu umiarkowanego i 4 do 6 razy szybciej w klimacie tropikalnym [30].

Przyjmuje się duże straty C z materii organicznej gleby i biomasy lądowej w okresie ostatnich 200 lat i jego rolę w zwiększaniu koncentracji CO<sub>2</sub>. Do tego procesu przyczyniło się wzięcie w 19 wieku pod uprawę rolną dużych obszarów dziewiczych łąk, a w 20 wieku – wycinanie lasów tropikalnych [2].



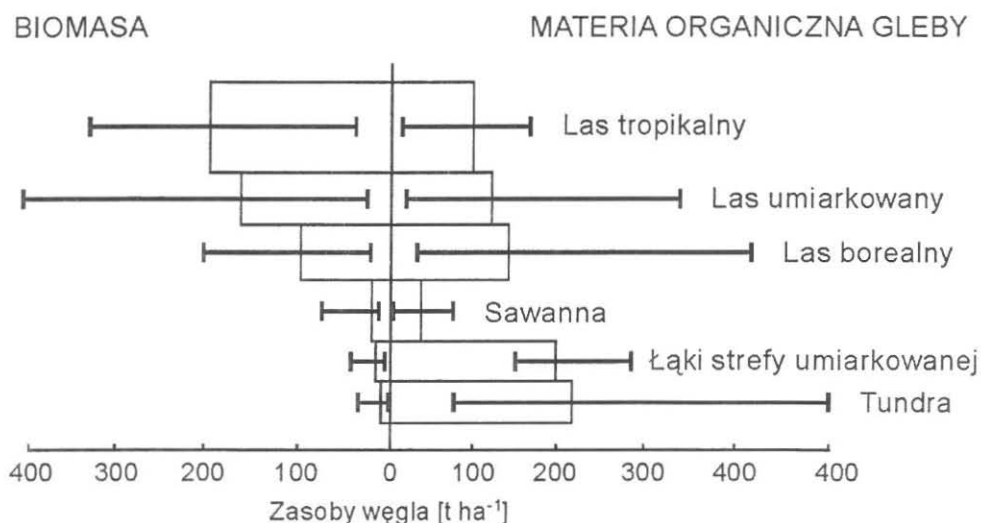
**Rys. 20.** Wpływ zmian klimatu na procesy uruchamiania i magazynowania zanieczyszczeń w glebach i mokradłach [52]

**Fig. 20.** Interlinkage between climate change and processes affecting the mobilization of stored pollutants in soils and wetlands



**Rys. 21.** Wpływ temperatury na emisję CO<sub>2</sub> z rozkładu glebowej materii organicznej [30]

**Fig. 21.** Effect of temperature on the evolution of carbon dioxide from the breakdown of soil organic matter



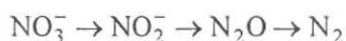
**Rys. 22.** Porównanie zawartości C w biomacie roślin i w materii organicznej gleby (łącznie ze ściółką) w różnych ekosystemach [55]

**Fig. 22.** Comparison of carbon pools in plant biomass and soil organic matter (including litter) across different ecosystems

Ważnym źródłem CO<sub>2</sub> w glebie jest CO który pochodzi z utlenienia metanu (CH<sub>4</sub>). W skali globalnej produkcja i utlenianie CO zachodzi w glebie niemal równocześnie z tym, że jego produkcja wiąże się z glebami strefy aridowej i semi-aridowej, natomiast konsumpcja z glebami bardziej wilgotnej strefy umiarkowanej.

Dużą rolę w zatrzymywaniu C w glebie spełniają obszary mokradeł (wetlands ang.), obniżone temperatury, a także głęboki system korzeniowy roślin. Określa się że 1 ha mokradeł 7-15 razy efektywniej pochłaniał CO<sub>2</sub> z atmosfery niż 1 ha lasu.

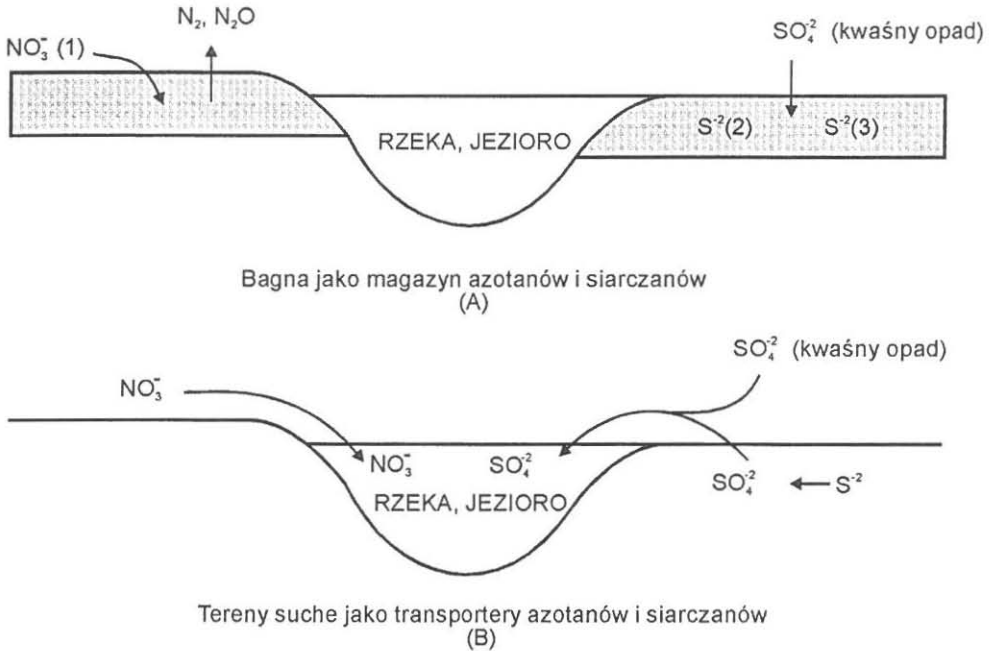
Gazem cieplarnianym jest podtlenek azotu (N<sub>2</sub>O) produkowany w glebie w procesie niecałkowitej denitryfikacji:



W skali globalnej jego produkcja wynosi 15-40 mln t. rocznie. Dla gleb Anglii np. wynosi ona 64000 t N rocznie, przy czym 36% produkcji przypada na gleby orne, 31% na pastwiska i 7% na leśne. Stwierdzono, że na produkcję N<sub>2</sub>O ma wpływ przewaga nad obecnością węgla i zakwaszenie gleby, a także wzrost temperatury.

Postępujące zakwaszenie gleb, które np. dla Europy Centralnej obejmie 60% gleb o pH poniżej 4 do roku 2010, a także niski potencjał redoks terenów zabagnionych, wywierają istotny wpływ głównie na przemiany azotu i siarki.

Znaczenie mokradeł jako buforu ograniczającego przemieszczanie azotanów i siarczanów do wód powierzchniowych przedstawia rys. 23.



**Rys. 23.** Różnice w przemieszczaniu azotu i siarki w terenach wilgotnych i suchych [49]

1 – Azotany pochodzące ze spływu nawozów azotowych; 2 – Minerale siarczkowe z wcześniejszych osadów morskich; 3 – siarczki pochodzące ze zredukowanych siarczanów kwaśnych opadów

**Fig. 23.** Differences in nitrogen and sulphur inputs in wetlands and dry lands

1 – Nitrate from runoff of nitrogenous fertilizer; 2 – Sulfide minerals from former marine sediments; 3 – sulfide reduced from sulfate inputs of acid deposition

Kolejnym ważnym gazem cieplarnianym jest  $\text{CH}_4$ . Gaz ten tworzy się podczas mikrobiologicznego rozkładu materii organicznej w ściśle anaerobowych warunkach (naturalne bagna, pola ryżowe, wysypiska śmieci) spalanie biomasy, procesy trawienne zwierząt). Przyrost stężenia metanu w tempie 1% rocznie stwarza obecną jego koncentrację w atmosferze w zakresie 1,7-1,8 ppmv w porównaniu do przed-przemysłowej wielkości 0,6-0,7 ppmv. Jest to najwyższa koncentracja atmosferyczna jaka wystąpiła na przestrzeni 160.000 lat, ulegając wahaniom w okresach lodowcowych i międzylodowcowych.

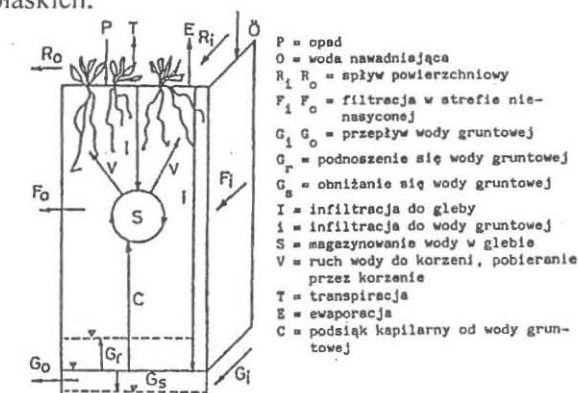
W glebie produkcja  $\text{CH}_4$  wynosi od 15 do 45 Tg i jest dodatnio skorelowana z potencjałem redoks, a ujemnie z zawartością siarczanów. Gleby natlenione i suche zatrzymują metan.

### Stosunki wodne gleb

Większość zmian przewidywanych w glebie pod wpływem zmian klimatu dotyczy stosunków wodnych. Ich składowe przedstawia rys. 24 i 25.

Zakłada się, że wzrost średnich rocznych opadów spowoduje:

- spływ powierzchniowy  $R$  w terenach urzeźbionych, pozbawionych gęstej roślinności, o ile infiltracja, przepuszczalność i pojemność wodna gleb są ograniczone;
- infiltracja ( $I$ ) i magazynowanie wody ( $S$ ) w glebie, o ile nie są one ograniczane w terenach płaskich:



Kl Cz	Chłodny, wilgotny	Chłodny, suchy	Gorący, wilgotny	Gorący, suchy
P	I	D	I	D
R	I	d, D	I	D
G	I	d	I	D
I	I	d	I	D
I	I	D	(I)	D
S	I	d	(I)	D
E	D	E	E	I
T	D	E	I	I
F	-	-	-	-
Gr	I	-	(I)	-
Gs	-	I	-	I

Rys. 24. Składowe polowego bilansu wody i stosunków wilgotnościowych gleb oraz wpływ 4 potencjalnych scenariuszy klimatycznych na te składowe. i, I – słaby i duży wzrost; d, D – słabe i silne zmniejszenie; E – bez zmian (równowaga) [60]

Fig. 24. The components of the field water balance and soil moisture regime and the influence of 4 potential climatic scenarios on these factors on these factors. i and I: slight and great increase; d and D: slight and strong decrease; E – no change (equilibrium)

Procesy degradacji gleb	Klimat				Czynniki	
	Z i S	Z i M	G i S	G i M	Naturalne	Antrop.
Erozja wodna		■		■	1, 2, 3	9, 10, 11, 12
Erozja wietrzna	■		■		3	9, 10, 11, 12
Zakwaszenie	■	■	■	■	2, 4	13, 15
Zasolenie/ alkalizacja	■		■		5, 6, 8	14
Degradacja fizyczna	■	■	■	■		10, 12
Nadmierna wilgotność		■		■	5, 6, 7	11, 12, 14
Degradacja biologiczna	■	■	■	■		11, 16
Niekorzystny stan składników pokarm.	■	■	■	■	(2, 6)	13
Zanieczyszczenie gleb		■				16

- Silny
  - Średni
  - Słaby
  - Nieistotny

**Rys. 25.** Wpływ czterech głównych scenariuszy klimatycznych (zimnego i suchego - Z i S; zimnego i mokrego - Z i M; gorącego i suchego - G i S; gorącego i mokrego - G i M) na główne procesy degradacji gleb oraz ich naturalne i antropogeniczne czynniki sprawcze. Czynniki sprawcze: naturalne: 1. Pofałdowana powierzchnia. 2. Skała macierzysta. 3. Brak trwałej i gęstej roślinności. 4. Rozkład ściółki leśnej. 5. Nisko położone tereny. 6. Niewłaściwe melioracje. 7. Wysoki poziom wód gruntowych (nie zasolonych). 8. Wysoki poziom wód gruntowych (zasolonych). Antropogeniczne: 9. Wylesienie. 10. Nadmierny wypas. 11. Nieracjonalne użytkowanie ziemi. 12. Niewłaściwa uprawa roli. 13. Nieracjonalne nawożenie mineralne. 14. Niewłaściwe nawodnienia. 15. Kwaśny opad. 16. Chemiczne zanieczyszczenie gleby [60]

**Fig. 25.** Effect of main four climatic scenarios on soil degradation processes and their natural and antropogenic factors (cold and dry - Z and S; cold and wet - Z and M; hot and dry - G and S; hot and wet - G and M)

Causative factors: natural: 1. Undulating surfaces. 2. Parent rock. 3. Lack of permanent and dense vegetation. 4. Litter decomposition. 5. Low-lying lands. 6. Improper drainage. 7. High water table (non saline). 8. High water table (saline). Antropogeneous: 9. Deforestation. 10. Overgrazing. 11. Irrational land use. 12. Improper tillage practices. 13. Irrational fertilizer application. 14. Improper irrigation. 15. Acid deposition. 16. Chemical soil pollution.

- odpływ wód gruntowych (G) o ile profil glebowy ma dobry drenaż pionowy, przepuszczalność nie jest ograniczona, specjalnie w obszarach nisko położonych;
  - ewaporację (E) o ile infiltracja jest ograniczona;
  - transpirację (T) w przypadku dobrze rozwiniętej pokrywy roślinnej.
- Obniżenie opadów powoduje odwrotne zmiany.
- Wzrost temperatury spowoduje:
- wzrost potencjalnej ewaporacji (E) i transpiracji (T), o ile łąn roślin nie cierpi niedostatku wody na skutek suszy;
  - obniżenie R, I, S i G specjalnie jeśli im towarzyszą niskie opady;



- obniżenie intensywności (głębokości) wiecznej zmarzliny; spowoduje to zmianę geograficznej granicy zmarzliny, otwarcie możliwości magazynowania i ruchu wody, biologicznej aktywności i procesów glebotwórczych w odmarzniętej części gleby.

Obniżenie temperatury spowoduje odwrotne zmiany.

Te przedstawione ogólne wpływy są modyfikowane przez typ, gęstość, dynamikę, skład gatunkowy i produkcję biomasy roślin, a także zależą od typu, intensywności, przestrzennego i czasowego rozkładu opadów atmosferycznych. Wpływ człowieka jest bardziej skomplikowany i czasami radykalnie modyfikuje bilans wodny pola i jego składniki.

Model wpływu zmian agroklimatycznych na przydatność rolniczą gleb Europy (EURO-ACCESS) [33] zawiera istotny element hydrologiczny [63] pokazany na rys. 26. W submodelu hydrologicznym pionowy przepływ wody w profilu glebowym opisany został przy pomocy równania Richardsa. W celu uwzględnienia heterogeniczności profilu glebowego zaproponowany został model przepływu preferencyjnego opracowany przez Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie.

#### Struktura gleby

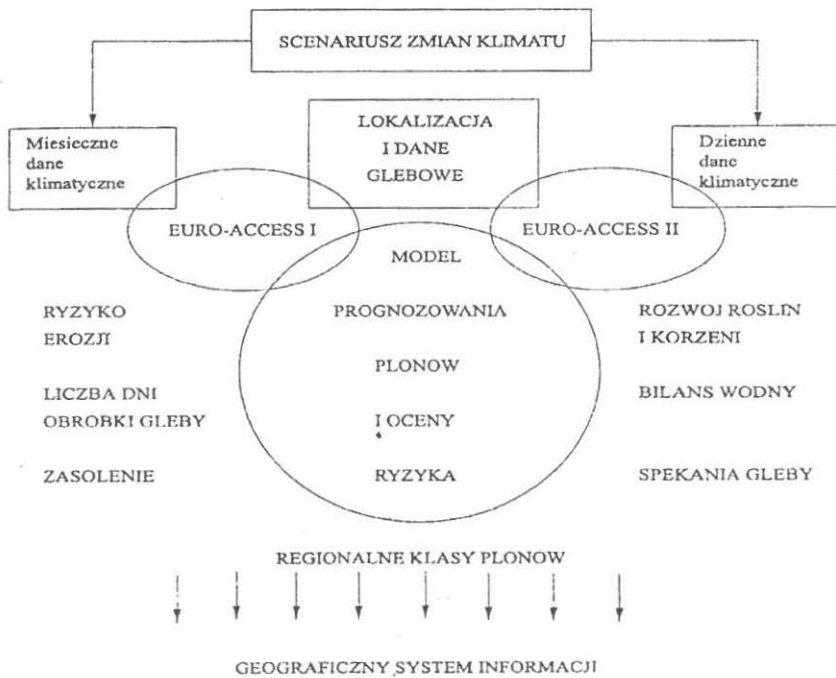
Wpływ zmian klimatu na strukturę gleby może być bezpośredni i pośredni. Bezpośredni dotyczy niszczenia agregatów przez krople deszczu, spływ powierzchniowy i przez wodę przesiąkającą. Stopień niszczenia agregatów zależy od intensywności czynnika niszczącego i od odporności agregatów. Pośrednie wpływy są powodowane szatą roślinną, lub jej brakiem, co może oddziaływać korzystnie, zmieniając tundrę w las i las w łąkę lub niekorzystnie powodując pustynnienie, podmokłości, zasolenie – alkalizację.

Podobnie oddziałuje niewłaściwe użytkowanie ziemi (nadmierne wypasanie, uprawa ciężkim sprzętem, niewłaściwe melioracje nawadniające) powodujące praktycznie nieodwracalne zmiany.

#### Zmiany typologiczne gleb

Ze wzrostem temperatury następuje ocieplenie obszarów wiecznej zmarzliny północnej Europy, Azji i Ameryki. Tamtejsze płytkie, gliniasto – pylaste, o słabej przepuszczalności gleby tundry i lasów borealnych, ulegną radykalnym zmianom pod wpływem topnienia olbrzymich ilości lodu.

Gleby torfowe strefy polarnej i borealnej ulegną kurczeniu i powolnemu zanikowi na skutek postępującego rozkładu materii organicznej. Zbielicowane



Rys. 26. Model EURO-ACCESS [63]

Fig. 26. EURO-ACCESS model

gleby tundry i lasów borealnych utworzone z peryglacialnych piasków i grubokrystalicznych skał przekształcą się w bardziej kwaśne i wymyte odmiany.

Ze wzrostem opadów ciężkie gleby obecnej tundry, regionów borealnych i umiarkowanie humidowych (niektóre Luvisole i Podzoluvisole, wg klasyfikacji FAO-UNESCO) będą uzyskiwać cechy glejowe w ich wierzchnich poziomach przekształcając się w pseudo- lub stagnogleje.

### Erozja gleb

Wpływ zmian klimatu na erozję gleby można ująć następująco:

- większe opady mogą powodować wzrost intensywności erozji, większy spływ powierzchniowy, o ile nie jest ograniczony szatą roślinną dobrze wykorzystującą wodę;
- małe opady ograniczają intensywność erozji, ale przy ubogiej roślinności ten efekt może nie zaistnieć;
- małe opady (lub wyższa temperatura) mogą intensyfikować erozję wiatrową;
- wzrost temperatury może znacznie zwiększać ryzyko erozji, redukując stosunek śniegu do deszczu w chłodnych regionach i w wysokich górach.

## 5. PODSUMOWANIE

Powstanie gleb i ich ewolucja teoretycznie datuje się od momentu pojawienia się czynnika biologicznego przy kształtowaniu przybrzeżnej strefy oceanów w dalekiej przeszłości kuli ziemskiej. Genezę i ewolucję współczesnej pokrywy glebowej można w zasadzie wiązać z erą kenozoiczną, a na dużych obszarach objętych plejstoceniowym zlodowaceniem z jej ostatnią epoką.

Jeszcze później rozpoczął się proces antropogeniczny, który po raz pierwszy w historii ewolucji gleb uruchomił dwa przeciwstawne trendy – ukulturalnienie i degradację gleb.

Pierwsza faza antropogenizacji, nie zakończona zresztą do dziś, polega na zmianie sposobu użytkowania gleby, co pociąga przede wszystkim zastąpienie naturalnej biocenozy, przez zespoły sztuczne, deformując jeden z podstawowych czynników glebotwórczych i typologicznych. Wspomniana faza objęła głównie strefy gleb najlepszych, dochodząc niekiedy do granic biologicznie dopuszczalnych. Dziś mimo pozornie znacznych jeszcze zasobów gleb dziewiczych dalsza niekontrolowana zmiana sposobu użytkowania, może doprowadzić do niebezpiecznych ekologicznie skutków, w tym i dla gleb, w skali całego globu.

Permanentne likwidowanie naturalnych zespołów roślinnych oraz pozostawianie nawet czasowo, odkrytej powierzchni gleb przyśpiesza, szczególnie na terenach urzeźbionych, procesy erozyjne. Ponieważ erozja ujawnia się niezależnie od poziomu gospodarowania, a nawet natęża się przy ekstensywnej gospodarce, n.b. dominującej na Ziemi, zagrożenie nią jest głównym dla pokrywy globu.

Duże obszary stanowią regiony zabagnione (wetlandy), które ulegają zmniejszeniu na korzyść obszarów pustynnych lub suchych.

Uintensywnienie wykorzystania gleb może zwiększyć zagrożenia, co więcej, mogą pojawić się formy nieznanne w gospodarce ekstensywnej. Szczególnie ma to miejsce przy nieprzestrzeganiu norm agrotechnicznych wynikających z aktualnego stanu wiedzy, lub przy niewczesnym eksperymentowaniu.

Do tych zagrożeń należą: zmiany składu chemicznego, nadmierne zakwaszenie, zasolenie, alkalizacja, przesuszenie, nadmierne zagęszczenie.

Szczególnie niebezpieczne są zagrożenia bez natychmiastowego ujawnienia skutków. Do nich należy naruszenie składu chemicznego gleby tak wskutek nieracjonalnego nawożenia i takiegoż stosowania środków ochrony roślin jak i wnoszenie do gleby produktów przemysłu i gospodarki komunalnej.

Wzrost tych składników w glebach narusza wprawdzie równowagę jonową, ale na etapie jedynie akumulacji jest potencjalnym zagrożeniem (chemiczna

bomba czasowa). W pełni efektywną staje się w momencie uzyskania możliwości wejścia tych składników w dalsze ogniwo obiegu biologicznego. W przewidywanych zmianach środowiska na kuli ziemskiej może to nastąpić przez pogłębienie zakwaszenia gleb, gdyż znakomita większość pierwiastków jest bardziej ruchliwa w zakresie odczynu kwaśnego. Uruchomienie ich może być również następstwem gloganych zmian, które uruchomią klimatyczny efekt cieplarniany, szczególnie jeśli naruszy on równowagę stosunków wodnych w glebach.

Duże obszary stanowią regiony zabagnione (wetlandy), które ulegają zmniejszeniu na korzyść obszarów pustynnych lub suchych.

Dynamiczne badania tych zagrożeń są wyzwaniem dla nauk przyrodniczych, w tym i gleboznawstwa.

## 6. LITERATURA

1. **Anderberg S., Stigliani W.M.:** Using scenario analysis for handling long term environmental impact of socio-economic activities. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 245-254, 1993.
2. **Arnold R.W., Szabolcs I., Targulian V.O. ed.:** Global soil change. CP-90-2 IIASA, Laxemburg, Austria, 1990.
3. Assessment of soil surface sealing and crusting. Proc. Symp. in Ghent, Belgium, 1985. F. Callabant, D. Gabriels, M.De Boodt Eds., State Univ. of Ghent, 1989.
4. **Baran S., Turski R.:** Degradacja, ochrona i rekultywacja gleb. Wyd. AR Lublin, 1997.
5. **Bednarek R., Prusinkiewicz Z.:** Geografia gleb. PWN, Warszawa, 1997.
6. **Beurskens J.E.M., de Wolf J., van den Heuvel H.:** Microbial dechlorination of hexachlorobenzene in anaerobic sediment: formation of mobile metabolites. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 157-163, 1993.
7. **Bis K., Demidowicz G., Deputat T., Górski T., Harasim A., Krasowicz S.:** Ekonomiczne konsekwencje zmian klimatu w rolnictwie polskim. Problemy Agrofizyki nr 68, Ossolineum, 1993.
8. **Bork H.R.:** The History of Soil Erosion in Southern Lower Saxony. Landschaftsgenese und Landschaftsökologie, 16, Braunschweig, 1989.
9. **Breeuwsma A., Reijerink J.G.A.:** Phosphate-saturated soils, a new environmental issue. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 79-86, 1993.
10. **Bridges E.M.:** Soil vulnerability mapping with respect to CTBs. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 225-232, 1993.
11. **Bril J., Postma L.:** A management model to assess the extent of movement of chemicals through soils. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of

- chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 181-194, 1993.
12. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands., 13-30, 1993.
  13. **Doelman P.:** The chemical time concept in relation to microbial transformation. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 67-75, 1993.
  14. **Forstner U.:** Sediment problems related to Chemical Time Bombs; conceptual approaches. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 129-146, 1993.
  15. **Fleming G.:** Landfills and contaminated lands: time delayed responses. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 167-176, 1993.
  16. **Fraters D., van Beurden A.U.J.C. van Beurden:** Cadmium loads in the European Community compared with local adsorption capacities. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 203-224, 1993.
  17. **Górka P.:** Zjawisko efektu cieplarnianego. *Młody Technik*, 9/1990.
  18. **Hensel W.:** Polska starożytna. Zakład Naukowy im. Ossolińskich, Wrocław, 1980.
  19. **Hekstra G.P.:** Climatic change and land use impact in Europe. W: Chadwick et al. Land use changes: Processes of change. Environmental transformations and future patterns. Kluwer Acad. Press Publishers, 1990.
  20. Historia Europy (praca zbiorowa). WSiP, Warszawa, 1995.
  21. **Hultberg H.:** The role of humic substances in the delayed effects of mercury in Swedish lakes. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 119-120, 1993.
  22. **Imeson A.C., Perez-Trejo F., Verstraten J.M.:** The erodibility of soils relevant to the triggering of chemical time bombs. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 61-66, 1993.
  23. **Kabata-Pendias A., Pendias H.:** Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym. Wyd. Geol., Warszawa, 1979.
  24. **Kern H.:** Odczyn i zawartość węglanu wapnia w profilach gleb użytków rolnych Polski. Wyd. IUNG Puławy, R(201), Puławy, 1985.
  25. **Knoop J., Traas Th.P.:** Acidification, changing land use, and cadmium mobilization: a modelling approach, Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 107-118, 1993.
  26. **Kokowski A.:** Archeologia Gotów idea Media Lublin, 1999.
  27. **Konsten C.J.M., Klepper O.:** Pyrite in wetlands: a natural chemical time bomb. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sedi-

- ments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 121-128, 1993.
28. **Kowalkowski A.:** Wiek i geneza gleb. Wszechnica PAN, Zakład Naukowy im. Ossolińskich, Wrocław, 1988.
  29. **Kuhnt G.:** Soil-bound residues of pesticides. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992,
  30. **Leigh R.A.:** The effect of climate change on soils, crops, pests and diseases. IACR Report, 59-66, 1989.
  31. **Lipiec J., Simota C.:** Role of soil and climate factors in influencing crop responses to soil compaction in Central and Eastern Europe. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 365-390, 1993.
  32. **Loch J.P.G., Loch G.A., van den Berg, van der Weijden C.H.:** The stability of Fe-, Mn-, and Al-(hydr)oxides and their binding capacity for contaminants in changing soil and sediment environments. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 45-52, 1993.
  33. **Loveland P.:** The ACCESS project: Agro-Climatic Change and European Soil Suitability a spatially distributed soil, agro-climatic and soil hydrological model. Int. Agrophysics 10(3), 145-154, 1996.
  34. **Mączyńska M.:** Wędrowki Ludów. PWN, Warszawa-Kraków, 1996.
  35. **Motowicka-Terelak T., Dudka S.:** Degradacja chemiczna gleb zanieczyszczonych siarką i jej wpływ na rośliny uprawne. IUNG, Puławy, 1991.
  36. **Noon E.P.:** Soils and the Greenhouse Effect. SSLRC, April, 1991.
  37. **Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A., Sombroek W.G.:** World map of the status of human - induced soil degradation. GLASOD, Wageningen, ISRIC, 1991.
  38. **Paepe R.:** Desert encroachment as part of the global change. H.J.W. Verplaneke et al. (eds). Water Saving Techniques for Plant Growth, 3-8, Kluwer Acad. Publisher, 1992.
  39. **Poels R.L.H., van Mensvoort M.E.F. (ed.),** Lectures notes on degradation and conservations of soil and land. Agric. Univ. Wageningen, Dept. Soil Sci. Geology, version February, 1997.
  40. Raport PIOŚ. Stan środowiska w Polsce, Warszawa, 1998.
  41. **Rauta C., Florea N., Munteanu I.:** CTB soil vulnerability mapping in Romania. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 233-244, 1993.
  42. **Salomons W.:** Non-linear responses of toxic chemicals in the environment: a challenge for sustainable management. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 31-44, 1993.
  43. **Sanchez Diaz J.:** Soil-use changes in the Mediterranean basin and its relation to chemical time bombs. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 147-156, 1993.
  44. **Schlesinger W.H.:** Biogeochemistry. An analysis of global change. Sec. ed. Acad. Press, 1997.
  45. **Schulin R., Geiger G., Furrer G.:** Effects of changing soil and sediment environments on the binding capacity of organic matter for contaminants. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments, 2-5 Sept., 1992,

- Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 53-60, 1993.
46. **Siuta J.(red.):** Degradacja i odnowa środowiska terenów przemysłowych. Mat. Edukacji ekologicznej, Warszawa, 1992.
  47. **Smal H., Salomons W.:** Heavy metals and acidification in Poland. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 97-106, 1993.
  48. **Soane B.D., van Ouwerkerk C.:** Soil compaction problems in world agriculture. W: Soil compaction in crop production. (Eds) B.D. Soane, C. Van Ouwerkerk. 1-21, 1994, 1993.
  49. **Solntseva N.P., Gerasimova M.:** Sediment-derived CTBs in coal mining areas: fusion processes and interaction with the environment. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 163-166, 1993.
  50. **Stigliani W.M.:** Changes in valued capacities of soils and sediments as indicators of non-linear and time-delayed environmental effects. J. Emission Monitoring and Assessment, 10, 245-307, 1988.
  51. **Stigliani W.M.:** Chemical time bombs: definition, concepts, and examples. Executive Rep., 16, IIASA, A-2361 Laxenburg, Austria, 1991.
  52. **Stigliani W.M.:** Overview of the Chemical Time Bomb problem in Europe: Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 13-30, 1993.
  53. **Terelak H., Motowicka-Terelak T., Dudka S.:** Pierwiastki śladowe (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) w glebach użytków rolnych Polski. Bibl. Monitoringu Środowiska, Warszawa, 2000.
  54. **Terelak H., Piotrowska M., Budzyńska U., Pietruch Cz., Wróblewski E.:** Stan zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. IUNG, Puławy, 1997.
  55. **Tinker P.B., Ineson P.:** Soil organic matter and biology in relation to climate change. W: Soils on a warmer Earth, eds. Scharpenseel H.W., Schomacker M., Ayoub A. 81-87, 1990.
  56. **Turski R., Słowińska-Jurkiewicz A.:** Gleby wytworzone z lessów. LTN, Lublin, 1994.
  57. **Turski R., Słowińska-Jurkiewicz A., Hetman J.:** Zarys gleboznawstwa, AR, Lublin, 2000.
  58. **Van den Hout K.D.:** Atmospheric deposition of non-acidifying pollutants in Europe. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 195-202, 1993.
  59. **Van Straalen N.M., Bergema W.F.:** Ecological risks of increased availability of metals under soil acidification. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 255-264, 1993.
  60. **Varallyay G.:** Influence of climatic change on soil moisture regime, texture, structure and erosion. Workshop on Global Soil Change, Nairobi (Kenya), 12-15 February, 1990.
  61. **Varallyay G.:** Salinization/alkalization and its effects on mobilization of chemicals in the Danube catchment area. Chemical time bombs. Proc. European State of the Art. Conf. Delayed effects of chemicals in soils and sediments. 2-5 Sept., 1992, Veldhoven, The Netherlands. Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 95-96, 1993.
  62. **Veldhoven, The Netherlands.** Foundation for Ecodevelopment Sticking Mondiaal Alternatief. Hoofddorp, The Netherlands, 87-94, 1993.

63. **Walczak R.T., Sławiński C., Sobczuk H.A., Gliński J.:** Aspekt hydrologiczny w modelu EURO-ACCESS. *Acta Agrophysica*, 9, 1998.
64. **Wigley T.M.L., Raper S.C.B.:** Natural variability of the climate system and detection of the greenhouse effects. *Nature*, vol. 344, 324-327, 22 March, 1999.

## 7. STRESZCZENIE

Opracowanie przedstawia możliwości rozwoju gleb od stadiów prymitywnych (we wczesnych epokach geologicznych) do bardziej złożonych, nasilających się wraz z pojawieniem człowieka współczesnego. Ocenie poddano ewolucję środowiska, w tym również gleb, w holocenie, z uwzględnieniem obszaru Polski. Kolejne rozdziały omawiają zasoby glebowe świata i ich wykorzystanie w różnych strefach limatyczno-roślinno-glebowych. Końcowe rozdziały wskazują na główne zagrożenia środowiska glebowego wywołane denudacją, erozją, zmianami składu i właściwościami gleb oraz globalnymi zmianami klimatu.

**S ł o w a k l u c z o w e:** gleby, ewolucja, zasoby, zagrożenia

## 8. SUMMARY

### EVOLUTION, RESOURCES AND MAIN HAZARDS OF SOILS

The monographs presents possibility of soil evolution from the primitive forms (in earlier geological epochs) to more complex, which intensified as a contemporary man appeared. An evolution of environment including soils, in Holocene in taking in consideration Polish territory was discussed. Further chapters describe soil resources of the World and their used in various climatic - vegetation - soil zones. The last chapters show main hazards of soil environment caused by denudation, erosion, changes in composition and properties of soils and in global climate change.

**K e y w o r d s:** soils, evolution, resources, hazards.



Adresy autorów:

**prof. dr hab. Jan Gliński**

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN  
w Lublinie

ul. Doświadczalna 4

20-290 Lublin 27

**prof. dr hab. Ryszard Turski**

Instytut Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska  
Przyrodniczego

Akademia Rolnicza w Lublinie

ul. S. Leszczyńskiego 7

20-069 Lublin

